Marcel Felipe Tonetto Costas

AVALIAÇÃO HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DE UMA PEQUENA BACIA EM URBANIZAÇÃO

Editora Poisson

Marcel Felipe Tonetto Costas

Avaliação hidrossedimentológica de uma pequena bacia em urbanização

1ª Edição

Belo Horizonte

Editora Poisson

2023

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M314 Marcel Felipe Tonetto Costas

Avaliação hidrossedimentológica de uma pequena bacia em urbanização - Marcel Felipe Tonetto Costas – Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2023

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-316-4
DOI: 10.36229/978-65-5866-316-4

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I. COSTAS, Marcel Felipe Tonetto II. Título

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

Autor

Marcel Felipe Tonetto Costas

Engenheiro Civil, formado pela Universidade Federal de Santa Maria com Mestrado na Área de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal de Santa Maria com mais de 30 anos exercendo a profissão de Engenheiro Civil na área de construção civil, além de participação de Congressos e encontros na Área de Recursos Hídricos.

Prefácio

O presente livro tem por finalidade apresentar uma avaliação hidrossedimentológica da Bacia Alto da Colina, em fase de urbanização no ano de 2003, localizada em Santa Maria – RS.

Para captação das amostras utilizou-se a estação fluviométrica instalada nesta bacia e obteve-se os dados sedimentométricos e hidrométricos. Essas amostras foram obtidas com amostradores manual (A M S – 1) e automático (ANA) sendo analisada a concentração de sedimentos, pelo método de filtração e granulometria, pelo método de retirada pelo fundo.

A concentração de sedimentos no início da cheia é bastante elevada, apresentando um pico, mostrando a carga de lavagem. A granulometria do material em suspensão apresentou um teor de areia 47% superior ao esperado pelo tipo de solo que constitui a bacia, solo este denominado Podzólico Bruno Acinzentado Álico.

A concentração de sedimentos obtida com o amostrador manual em eventos de cheia apresentou boa correlação com a vazão, permitindo a construção de uma curva-chave.

A relação entre a turbidez e a concentração de sedimentos também apresentou uma boa correlação com o amostrador A M S – 1 e turbidímetro SL2K tendo um R2 igual a 0,9260. Apesar desta boa correlação, quando se tentou estabelecer uma curva chave de concentração a mesma não pode ser utilizada, pois existiu uma grande discrepância entre a concentração calculada desta maneira e a concentração medida na estação fluviométrica. Para a determinação da produção de sedimentos transportados em suspensão utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada, MUSLE posposta por Williams (1975) que demonstrou valores muito elevados em relação aos valores calculados com a curva chave de concentração em função da cota e da vazão.

Dedico a meus pais, Dr. Marcelo e Dra Mirce,
que sempre foram exemplos de virtude,
honradez, sabedoria e amor

SUMÁRIO

1. Introdução 10

2. Contextualização teórica 12

2.1. Introdução 12

2.2. Problemas enfrentados pelas cidades oriundos da deposição de sedimentos na rede de drenagem 14

2.3. Pequena bacia hidrográfica 15

2.4. Ciclo hidrossedimentológico 15

2.5. Produção de sedimentos na bacia 17

2.6. Modelos de previsão de produção de sedimentos 17

2.6.1. Equação Universal de Perda de Solos (USLE). 18

2.6.2. Estimativa de produção de sedimentos com valores típicos de acordo com o tipo de urbanização 20

2.7. Transporte fluvial de sedimentos 23

2.8. Distribuição dos sedimentos nos cursos de água 25

2.9. Curva chave de vazão ou curva de descarga líquida 26

2.10. Curva de descarga sólida 27

2.11. Escolha do tipo de amostra (água + sedimento) 28

2.12. Amostradores de sedimento 29

2.13. Turbidez 29

2.14. Determinação de sedimentos transportados através de medições contínuas de turbidez 30

2.15. Relação entre sedimentos em suspensão e turbidez 31

3. Abordagem metodológica 33

3.1. Introdução 33

3.2. Descrição da bacia estudada 33

3.3. Características físicas da bacia 35

3.4. Clima e solos 36

3.5. Procedimento de campo e laboratório 36

3.5.1. Estação pluviométrica 36

3.5.2. Estação fluviométrica 37

3.6. Medida de descarga líquida 38

3.7. Medida de descarga sólida 39

3.7.1. Descarga sólida em suspensão. 39

3.7.1.1. Medida de sedimento em suspensão 40

3.8. Equipamentos para coleta de amostras de material em suspensão. 40

SUMÁRIO

3.8.1. Amostrador US – DH - 48 - A M S -1 40

3.8.2. Amostrador de nível ascendente ANA 41

3.9. Análise granulométrica 42

3.9.1. Análise granulométrica do sedimento em suspensão 43

3.9.1.1. Traçado da curva de Oden 44

3.10. Análise de concentração de sedimentos em suspensão 45

3.11. Dados de turbidez 46

3.12. Relação entre turbidez e concentração de sedimentos em suspensão 47

3.13. Determinação da produção de sedimentos na bacia hidrográfica 48

3.13.1. Modelo utilizado 48

3.13.2. Equação Universal de Perda de Solo Modificada – MUSLE 48

3.13.2.1. Estimativa dos parâmetros 49

4. Resultados e discussões 51

4.1. Características físicas da bacia estudada 51

4.2. Características do relevo 51

4.2.1. Retângulo equivalente 51

4.3. Dados monitorados 52

4.3.1. Dados pluviométricos 52

4.3.2. Dados fluviométricos 53

4.4. Vazão 54

4.4.1. Curva-chave de vazão 54

4.4.2. Vazões máximas mensais 55

4.5. Dados sedimentológicos 56

4.5.1. Concentração de sedimentos em suspensão 56

4.5.1.1. Resultados obtidos com amostrador Us-U-59 - ANA 57

4.5.1.2. Resultados obtidos com amostrador – US-DH-48 - A M S -1 61

4.6. Curva chave de concentração 64

4.7. Determinação da descarga sólida em suspensão 66

4.8. Comparação entre curvas-chave de sedimentos em outras bacias da região 66

4.9. Análise granulométrica da bacia Alto da Colina I (urbana) e Alto da Colina II (rural) 68

4.10. Turbidez x concentração de sedimento em suspensão 69

4.10.1. Análise das amostras de mistura água-sedimento com amostrador ANA e turbidez medida com turbidímetro SL2K 69

4.10.2. Análise das amostras de mistura água-sedimento com amostrador US-DH-48 turbidez medida com turbidímetro SL2K 71

SUMÁRIO

4.10.3. Análise das amostras de mistura água-sedimento com amostrador US-DH-48 e turbidez medida com a mini-sonda Hydrolab 4 A 73

4.10.4. Correlação entre cota e turbidez a partir do amostrador ANA 75

4.10.5. Correlação entre cota e turbidez a partir do amostrador A M S 1 76

4.11. Vazão x concentração de sedimentos em suspensão 77

4.11.1. Vazão x concentração de sedimentos em suspensão obtidas com o amostrador ANA 77

4.11.2. Vazão x concentração de sedimentos em suspensão obtida s com o amostrador A M S – 1 77

4.12. Eventos analisados para a determinação de sedimentos 81

4.13. Produção de sedimentos 82

4.13.1. Produção de sedimento calculado conforme a MUSLE 82

4.13.2. Produção de sedimentos calculada com a curva chave de concentração em função da cota 83

4.13.3. Produção de sedimentos calculada com a curva chave de concentração em função da vazão 84

4.14. Comparação entre valores de produção de sedimentos calculados com a MUSLE, com a curva chave de concentração em função da cota e em função da vazão 84

5. Considerações finais 86

Referências bibliográficas 88

Anexos 91

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano acarreta vantagens e desvantagens para as cidades. A sociedade sempre está preocupada com as vantagens que o desenvolvimento trás e raramente com as suas desvantagens, cabendo a função de mostrá-las e apresentar soluções para os pesquisadores da matéria.

A urbanização das cidades, necessária para o desenvolvimento das mesmas, é uma das principais causas de alteração dos processos sedimentológicos que ocorrem na natureza.

Os efeitos da urbanização na produção de sedimentos são impactantes, pois ocasionam a redução da infiltração no solo, uma vez que a camada natural é impermeabilizada, resultando num aumento de vazões máximas, tendo como conseqüência um transbordamento de bueiros, obstruções em galerias pluviais e assoreamento nas tubulações pluviais e nos corpos d'água.

O presente trabalho procura demonstrar estes efeitos numa área que foi loteada no bairro Camobi em Santa Maria – RS que originou o Loteamento Alto da Colina.

O loteamento Alto da Colina, sendo uma bacia em urbanização foi escolhida no ano de 1999, para a instalação de uma estação fluviográfica e pluviográfica para fornecer subsídios às pesquisas do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (GHIDROS) da Universidade Federal de Santa Maria.

No decorrer da urbanização deste loteamento foram realizados desmatamentos, aberturas de ruas, limpeza de terrenos, construções e todas as ações antropogênicas que alteraram as condições naturais anteriormente existentes.

A ação do homem sobre o meio, feita de forma não planejada, com a retirada da cobertura vegetal e exposição do solo às intempéries, faz com que o processo de carreamento se acelere, causando danos a formação original da bacia, alterando o seu regime hidrológico e sedimentológico.

Este livro objetiva avaliar a produção de sedimentos em uma bacia em fase de urbanização, através de medições a campo e de análise em laboratório, com diferentes equipamentos e com a utilização de modelos de previsão de produção de sedimentos.

Através do monitoramento hidrossedimentológico da bacia hidrográfica Alto da Colina é estimada a carga de sedimentos e comparada com a obtida em outras bacias da região. Além disto são avaliadas técnicas de medidas e a determinação da turbidez para a estimativa da concentração de sedimentos.

Este livro estabelece um diagnóstico sobre os efeitos danosos que a urbanização não planejada causa sobre a bacia hidrográfica original, alterando seu regime hidrológico e sedimentológico, trazendo todo tipo de transtornos a uma cidade, que uma alteração desta ordem pode causar, como exemplo, a deposição de sedimentos na rede de drenagem.

Foram utilizados métodos hidrológicos para que fosse possível estimar a produção de sedimentos na bacia.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1. INTRODUÇÃO

Este livro tem como foco principal os processos sedimentológicos de pequenas bacias em urbanização e a determinação da produção de sedimentosnesta bacia.

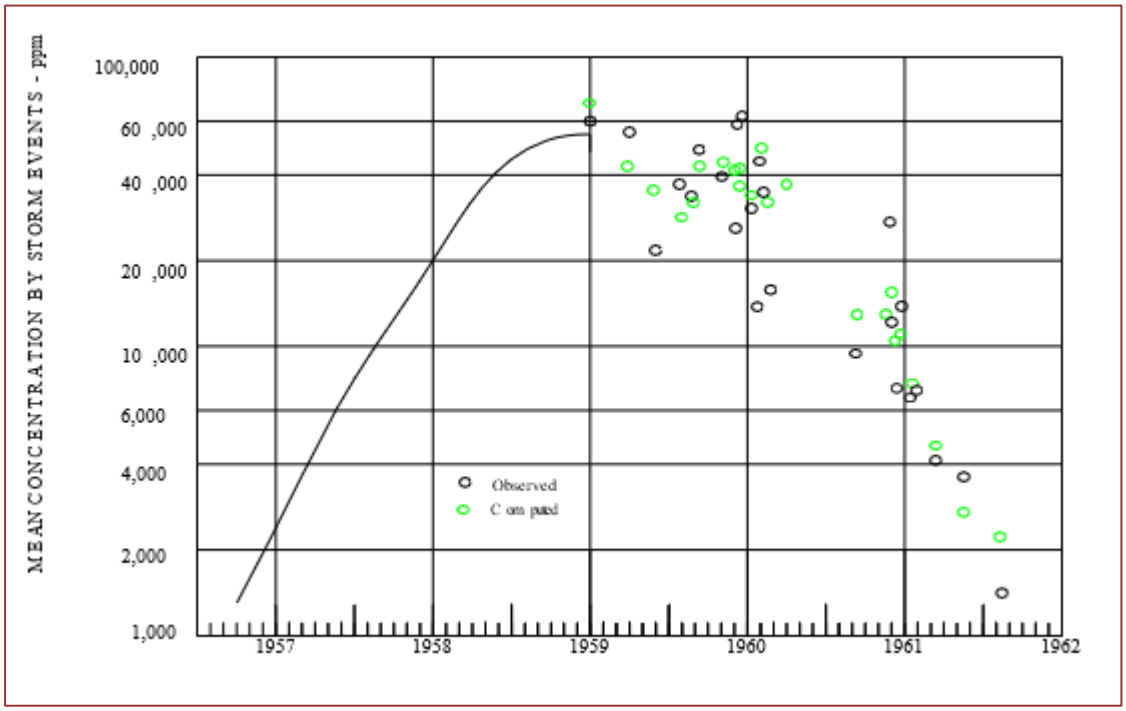
Devido ao elevado custo, tanto material quanto humano, para a determinação da produção de sedimentos em bacias utilizou-se métodos hidrológicos, que estabelecem relações entre sedimentos em suspensão e outras características do material escoado pelas vias de drenagem. Segundo Walling (1977) apud Corso (1989) os métodos que relacionam sedimento em suspensão e turbidez; e sedimento em suspensão e vazão são os mais adequados para a determinação de sedimentos em suspensão.

Segundo Ferreira (1999) a urbanização é definida como o conjunto dos trabalhos necessários para dotar uma área natural de infraestrutura (água, esgoto, gás, eletricidade, telefone, vias de transporte, etc) e ou serviços urbanos (transporte, educação, saúde, etc).

No bairro Camobi, na cidade de Santa Maria — RS, foi loteada uma área onde foi implantado o Loteamento Alto da Colina, que como era de se esperar nãofugiu a regra da falta de preocupação em tomar medidas que atenuassem os efeitos de uma urbanização não planejada.

No decorrer da urbanização da bacia é onde ocorre a maior concentraçãode sedimentos, conforme revela Dawdy (1967), apud Tucci e Collischonn (2000),em seu estudo de uma bacia em Maryland, EUA. Suas pesquisas demonstraram que a produção de sedimentos foi 50 vezes maior que a produção original e coincidiu com a época de máxima atividade de ocupação e construção na bacia, ocorrendo uma diminuição e estabilização na medida que essas atividades foram diminuindo e terminando, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Concentração de sedimentos durante a urbanização de uma bacia



Fonte: Dawdy (1967)

Além da concentração elevada de sedimentos, também podemos citar como conseqüência do não planejamento de urbanização os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas em até sete vezes conforme Leopold (1968), devido ao aumento da capacidade de escoamento das superfície;
- Aumento da produção de sedimentos, devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo) conforme Tucci e Collischonn (2000);
- Deteriorização da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial, conforme Tucci e Collischonn (2000).

O conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão é importante para avaliação das conseqüências da intervenção humana na bacia hidrográfica (erosão devido ao desmatamento, atividades agrícolas ou de mineração), no assoreamento de barragens, para o caso de estuários, no estudo do escoamento de

canais de acesso e berços de atracação em portos. Bandeira &Aun (1989).

Carvalho (1995) num diagnóstico sedimentológico realizado na bacia do rioSão Francisco, mostrou que o aumento da produção de sedimentos está sendocausado pela urbanização e mineração na bacia, pelo aumento de áreas agrícolas para a produção de alimentos e pela construção de estradas, aliados a presença de fortes chuvas.

2.2. PROBLEMAS ENFRENTADOS PELAS CIDADES ORIUNDOS DA DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NA REDE DE DRENAGEM

Os problemas de sedimentos gerados nas cidades pela urbanização não planejada ou pouco planejada atingem de várias maneiras a população que nelas residem.

Segundo Cavagutti e Silva (1993), na cidade de Bauru SP, o aumento e a concentração do escoamento superficial, lançado sobre a rede de drenagem natural, resultou no surgimento de voçorocas acarretando danos materiais e humanos. O sedimento originado pelas voçorocas causou a obstrução de um lagoe de uma estação de recalque.

A região metropolitana de São Paulo é outro exemplo de como o desenvolvimento urbano acelerado e sem planejamento causa transtorno a população. Segundo Ramos et al (1993) na década de 50 na área das bacias doRio Tietê e Pinheiros, um de seus afluentes houve uma rápida ocupação, principalmente nos solos das cabeceiras destas bacias que são frágeis e de topografia acidentada, o que resultou num aumento da intensidade e da freqüência de chuvas e conseqüentemente no aumento da produção de sedimentos. A dragagem do rio Pinheiros se tornou indispensável por que neste rio foram implantadas estruturas de controle, diminuindo a velocidade de escoamento e a capacidade de transporte, resultando na deposição de praticamente todo material sólido transportado.

Outra grande cidade que sofre com os problemas de sedimentos carreadosé Belo Horizonte, MG, onde um estudo realizado por Oliveira e Batista (1997) na represa da Pampulha a partir de quatro levantamentos batimétricos realizados nos últimos quarenta anos constatou que o aporte anual médio de sedimentos, calculados a partir do volume assoreado, no período de 1957 a 1994, correspondea 2.463 $m^3.km^{-2}.ano^{-1}$.

2.3. PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Ponce (1989), uma pequena bacia hidrográfica se apresenta comalguma ou todas as características enumeradas abaixo:

- A precipitação pode ser considerada como uniformemente distribuída noespaço, sobre toda a bacia;
- A precipitação pode ser considerada como uniformemente distribuída no tempo;
- A duração das tormentas geralmente excede o tempo de concentração dabacia;
- A geração de água e sedimentos se dá principalmente pelo escoamento nasvertentes;
- Os processos de armazenamento e de fluxo concentrado na calha dos cursosd'água são pouco importantes.

Para conhecer melhor os processos sedimentológicos é conveniente uma interação entre todos os componentes desses processos, e onde mais fica claro a participação de todos é no desenrolar do ciclo hidrossedimentológico.

2.4. CICLO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO

A interação de fatores hidrológicos como a quantidade e a distribuição da precipitação, a estrutura geológica e pedológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal são a origem da formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e a sua forma de transporte.

Segundo Bordas e Semmelmann (1993) a água interceptada pela bacia hidrográfica, no seu movimento de saída desta, flui sobre ou dentro das rochase/ou os solos que revestem as vertentes e as calhas da rede de drenagem. Ocaminho que a água fará e sua velocidade será determinada pelos obstáculos queela encontrará, obstáculos estes que serão também responsáveis pela dissipaçãode boa parte da energia de que está provida ao propiciar que partículas sólidassejam removidas e transportadas vertente ou rio abaixo. Os processos sedimentológicos fluviais incluem: remoção, transporte e deposição das partículasde rocha alterada, envolvendo toda a dinâmica da

bacia de drenagem. Os deslocamentos dos sedimentos acabam provocando o remanejo e a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, a ponto de poderem alterar o ciclo hidrológico e afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos.

Citando Bordas e Semmelmann (1993), "paralelamente ao ciclo da água, existe o ciclo hidrossedimentológico, que ao contrário do ciclo hidrológico é um ciclo aberto, intimamente vinculado e totalmente dependente daquele, envolvendoo deslocamento de partículas sólidas presentes na superfície da bacia."

Os mecanismos determinantes dos processos sedimentológicos fluviaisestão relacionados às condições ecológicas reinantes nas bacias hidrográficas eem muitos aspectos podem derivar de ações antrópicas, causando prejuízos comoos relacionados a:

- Remoção intensa de solos, aplicação intensa de fertilizantes e pesticidas nasvertentes por causa de práticas agrícolas inadequadas de utilização das terras;
- Perdas de produção agrícola decorrentes do recobrimento de áreas agricultadas por sedimentos estéreis e do encharcamento das mesmas, resultantes da obstrução de drenos naturais;
- Assoreamento de reservatórios;
- Deteriorização de sistemas de irrigação e drenagem;
- Assoreamento ou erosão nas vias navegáveis e portos;
- Degradação de água para uso industrial e doméstico;
- Erosão em rodovias, ferrovias e oleodutos; e
- Sedimentação de áreas atingidas por inundações.

Nota-se a complexidade e importância da compreensão dos processos de produção, transporte e deposição de sedimentos em bacias hidrográficas. Ultimamente, a gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradaçãodos solos, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estuarinos, ou da contaminação dos sedimentos por produtos químicos, têm levado pesquisadores e a própria sociedade a dar maior importância aos problemas decorrentes das alterações do ciclo hidrossedimentológico

natural.

2.5. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA

A produção de sedimentos na bacia, pela sua importância, vem sendo estudada a longo tempo e atualmente são bem conhecidos os processos e a maneira que são formados os sedimentos que se originam na bacia.

Um dos processos mais importantes na formação de sedimentos na bacia éo de erosão que atua nas vertentes. Erosão é o processo de intemperização eremoção de rochas e solos por meio de agentes naturais como escoamento superficial, vento, etc e também por ações antrópicas.

A partir do conhecimento dos fatores atuantes na formação de sedimentos na bacia, tornou-se possível a modelagem dos processos erosivos.

2.6. MODELOS DE PREVISÃO DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Os modelos são utilizados para estimar quantidades físicas que descrevemas principais respostas da bacia à precipitação, tais como produção de água e sedimentos, Li (1974) *apud* Branco (1998). Estes modelos apresentam características e objetivos distintos, o1 que acarreta maior ou menor nível deprecisão nos resultados e nos dados de entrada, Goldenfum, (1991). É necessário,portanto, que se conheça esses diferentes enfoques para que se possa desenvolver, escolher e utilizar conforme as necessidades do usuário.

Segundo Santos (2001) os modelos erosivos são importantes do ponto de vista da sedimentometria principalmente porque:

- permitem localizar espacialmente as áreas com processos erosivos mais acentuados, favorecendo a tomada de decisão com medidas locais e mais eficientes, pois atingem a fonte do problema;
- permitem prever transporte de sedimentos quantitativamente no tempo eno espaço, facilitando assim o planejamento da rede de monitoramento sedimentométrico e a freqüência das campanhas de medição;
- permitem estimar variações na carga de sedimentos devido a alteraçõesno

uso do solo previstas no futuro, seja com a finalidade de manejo de bacias, seja para avaliar impactos de determinados usos agrícolas.

Um dos modelos de predição da erosão de origem hídrica, mais conhecido é o método centrado na Equação Universal de Perda de Solos (USLE).

2.6.1. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS (USLE).

Devido a simplicidade dos parâmetros envolvidos e da facilidade de ser implementada de forma distribuída, a Equação Universal de Perda de Solo, vem sendo bastante utilizada, apesar do caráter eminentemente empírico, o que implica em resultados restritos às condições de calibragem do ponto de vista quantitativo.

Como modelo empírico apresenta dificuldades em generalizar os resultados, o que inviabiliza sua utilização em muitas regiões, todavia o modelo é bastante didático para que sejam entendidos os processos erosivos de vertentes.

A USLE segundo WISCHEMEIER & SMITH, (1961) foi desenvolvida pelo U.S.D.A.,(Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) que tem a seguinte forma:

$$Y = R.K.L.S.C.P. \qquad (1)$$

Onde:

Y = Perda anual de solo calculada por unidade de área, em t(ha.ano);

R = Fator chuva – índice de erosão pela chuva, expresso em Mj/ha.mm/h;K = Fator de erodibilidade do solo, em t/ha/(MJ.mm);

LS = Fator conjunto de comprimento e declividade do solo;C = Fator de uso e manejo do solo;

P = Fator de práticas conservacionistas.

Esta equação superestima a produção de sedimentos, uma vez que fornecea produção bruta de sedimentos, que é a erosão total ocorrida no solo ou o sedimento disponível a ser transportado pelo escoamento superficial. Em vista disso, na aplicação desta equação as bacias hidrográficas, leva-se em consideração o conceito de taxa de condução de sedimentos (“Sediment delivery ratio — SDR”) definida pela relação entre a produção bruta de sedimentos, sendo a produção efetiva de sedimentos caracterizada

pelos sedimentos produzidos pela erosão que chegaram até a seção de referência da bacia.

Devido ao fator R da USLE e a estimativa de SDR apresentar problemaspara sua determinação, WILLIAMS (1975) propôs uma equação universal de perdas de solo modificada, a MUSLE, para eventos chuvosos isolados, substituindoo fator R da USLE por um fator de volume de escoamento superficial e vazão depico do hidrograma de cheia, dando uma nova forma à equação anterior:

$$Y = a \cdot (Qs \cdot Qp)\mathrm{b} \cdot \mathrm{K.\,L.\,S.\,C.\,P.} \qquad (2)$$

Sendo:

Y = Produção de sedimentos na bacia devido a uma chuva individual, em t;Qs = Volume de escoamento superficial, em m^3;

Qp = Vazão de pico do escoamento superficial, em m^3/s;K, LS, C, P = Fatores da USLE descritos anteriormente; a = 89,6; b =0,56.

Esta rotina apresentou bons resultados para duas pequenas bacias de Treynes, Iowa; em uma bacia do Riesel, Texas; e na bacia do Elmcreek, no Texas conforme Williams,(1975).

O modelo também tem como aspecto positivo o de apresentar de forma qualitativa a variação espacial da intensidade dos processos erosivos em termos médios anuais.

Entretanto a utilização da equação universal de perdas de solo (USLE) porter sido desenvolvida para áreas rurais não é adequada para áreas urbanas.

Conforme Ramos (1996), a urbanização altera os parâmetros da USLE porque na implantação de loteamentos e obras ocorrem movimentações de terra modificando a topografia local com modificações nos fatores LS (fator topográfico), também com a remoção da camada superficial a taxa de erodibilidade (fator K) é afetado e se a implantação das obras se estenderem por muito tempo tambémpode ocorrer a modificação do fator P (fator de prática conservacionista).

A MUSLE tem como aspecto a ser salientado a superestimação de valores de sedimentos, conforme relata Carvalho (2003), em todos os eventos testados no período de junho de 2001 a março de 2003 na bacia hidrográfica Alto da Colina II (bacia rural)

em Santa Maria/ RS, onde foi utilizada a MUSLE, esta superestimouos valores de produção de sedimentos observada, relatos também descritos porParanhos (2003) na bacia hidrográfica rural Menino Deus II localizada em Santa Maria e Goldenfum (1991) em duas sub-bacias do arroio Forquetinha localizadas na região centro-leste do Rio Grande do Sul.

2.6.2. ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS COM VALORES TÍPICOS DE ACORDO COM O TIPO DE URBANIZAÇÃO

Como já foi citado anteriormente a USLE e MUSLE não se comportam bem para bacias urbanas e segundo Tucci e Collischonn (2000) a produção de sedimentos em bacias urbanas pode ser estimada, tendo como base os seguintes aspectos:

- Volume de material dragado em canais;
- Avaliação de assoreamento de lagos;
- Equações empíricas.
- Valores típicos de acordo com o tipo de urbanização;

Esses valores típicos podem ser estimados como valores médios anuais ou como valores de concentração média de sedimento por evento (EMC).

A tabela 01 apresenta valores de produção de sedimentos suspensosmédios em bacias urbanas, de alguns países europeus e dos Estados Unidos combase na carga anual específica e no EMC. Os valores dos países europeus tendema ser maiores que os americanos, pois naquele continente prevalece o sistema misto (esgoto clocal e pluvial na mesma tubulação), enquanto na América do Norteprevalece o sistema de separador absoluto.

Tabela 01 : Sedimentos suspensos no escoamento urbano,

País /Região	Carga de sedimentos. ton/ .(km²/ano)	EMC mg/L
Reino Unido	49 (35 - 234)	190 (21 - 2582)
França	146 (80 - 265)	364 (15 - 3780)
Alemanha	104 (26,3 - 150)	170 (46 - 2700)
Escandinávia	--	323 (5 - 1040)
EUA	--	150 (2 - 2890)

Fonte: Ellis, (1996), apud Tucci e Collischonn, (2000)

Obs: EMC é a concentração média de sedimentos por evento. Os valoresentre parênteses indicam a faixa de valores medidos.

A estimativa da carga de sedimentos pode ser realizada com base em valores médios, de acordo com o tipo de ocupação, através da equação 03.

$$L = \Sigma A_i C L_i \qquad (3)$$

Onde:

L é a carga total de sedimentos em toneladas

Ai é uma subárea da bacia em Km ² com carga específica Cli em mg/L

Essas cargas específicas podem ser estimadas com base na tabela 02, tabela essa apresentada por Ellis (1996) e representam os maiores e menores valores de produção de sedimentos. Esses valores expressam o comportamento de cidades americanas e européias, razão pela qual os mesmos devem ser usados com cautela.

Em locais onde é conhecido o coeficiente de escoamento, pode-se utilizar a vazão resultante multiplicada pela concentração média (EMC) (Tucci e Colischonn, 2000).

Tabela 02: Carga sólida para diferentes usos do solo urbano ,

Uso do solo urbano	Máximo Ton.km^{-2}.ano^{-1}	Mínimo ton.km^{-2}.ano^{-1}	EMC mgL^{-1}
Estradas	72	28	250
Industrial/Comercial	137	24	280
Residencial baixa densidade	34	6	100
Residencial média densidade	55	10	187
Residencial alta densidade	76	13	250
Estacionamentos	76	12	--
Parques	59	8	--
Áreas em construção	8400	2200	--

Fonte: Ellis (1996), apud Tucci e Collischonn (2000)

Na tabela 03 são mostrados os valores obtidos para cidades brasileiras.

Tabela 03: Estimativas de material sólido depositado na rede de drenagem de bacias urbanas brasileiras

Local	Tipo de estimativa	Volume m^3/km^2.ano	Referência
Rio Tietê em São Paulo	Material dragado	393	Nakae e Brighetti (1993)
Rio Tietê em São Paulo	Material do leito dosAfluentes	1400	Lloret Ramos etal. (1993)
Represa da Pampulha M.G.	Assoreameento 1957 a 1994	2436	Oliveira e Baptista (1997)
Arroio Dilúvio RS	Material Dragado	750	DEP (1993)

Fonte: Tucci e Collischonn (2000)

A primeira estimativa para o rio Tietê e também para o arroio Dilúvio em Porto Alegre mostra valores relativamente menores, e isto pode ser explicado porque estas foram baseadas no volume de material dragado, que representa apenas uma parte do aporte total, uma vez que o sedimento segue sendo transportado pelo rio.

O volume de material que se deposita na represa da Pampulha tem um valor relativamente alto, o que pode ser explicado porque esta represa tem uma capacidade de retenção de sedimentos maior do que os trechos de canal.

2.7. TRANSPORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS

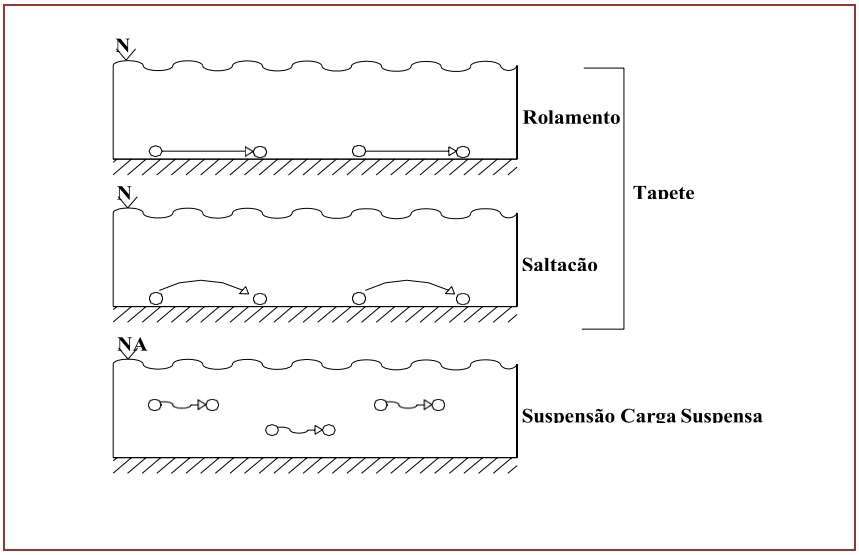
A carga de sedimentos dos cursos de água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas. Mecanicamente, a espécie da partícula exprime-se pela sua densidade, o tamanho pelo seu diâmetro maior e a forma pelo coeficiente de esfericidade Christofoletti (1981).

A água se constituí no mais eficaz agente causador da erosão, tanto no desalojamento, quanto no transporte de material, desde sua origem aos eventuais pontos de deposição. Uma vez presente no escoamento, esse material passa a semover de diferentes formas. Segundo Herrero (1974) apud Corso (1989), há três modos de transporte de sedimentos que são função do tamanho das partículas e da capacidade de transporte da corrente:

- Rolamento sobre a superfície do leito como “arraste” ou “contato”;
- Elevação para dentro do escoamento e posterior retorno à superfície do leitocomo “saltação”;
- Suspensão e suporte pelo fluído envolvente durante todo o transporte como“suspensão”.

A figura 2 ilustra os três principais mecanismos de transporte das partículas sedimentares num fluído.

Figura 2 – Modalidades de transporte dos sedimentos num fluído



Fonte: Nichols, 1999.

O material de arraste e saltação se constituem no “material do leito” e se movimenta em função da capacidade de transporte do escoamento, que dependeda natureza do canal e do sedimento que está sendo carregado. O “material em suspensão”, que se mantém nesta condição pela ação de forças de sustentação da turbulência, move-se aproximadamente à mesma velocidade do rio,UMEZAWA (1979).

Uma parcela da carga detrítica do curso de água é proveniente da ação erosiva que o movimento da água exerce sobre as margens e o fundo do leito (bedload). Entretanto, a maior parte é fornecida pela remoção detrítica das vertentes (wash load). Assim, reconhece-se que o transporte de sedimento é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime do escoamento superficial e pelas características das partículas que compõem a cargade sedimentos.

A carga de sedimentos diz respeito ao tipo de material transportado, enquanto que o termo “descarga sólida” ou “descarga de sedimentos” é definido como a massa total de sedimentos que passa em uma seção transversal do rio por unidade de tempo, geralmente expressa em toneladas por dia (Vanoni, 1977)

Outra grandeza física importante no transporte de sedimentos é a concentração, expressa em mg/L e definida como a razão entre as descargas sólida e líquida multiplicado por um fator numérico de ajuste das unidades.

A carga total de sedimentos é composta por materiais fornecidos pelos processos químicos, físicos e biológicos que governam a erosão e pelos mecanismos de transporte de massa no regolito. No processo de transporte fluvialde sedimentos podem-se distinguir três tipos de cargas: dissolvida, em suspensãoe do leito.

A deposição da carga de sedimentos ocorre quando a capacidade de transporte é excedida pelo aporte dos sedimentos, ocorrendo a deposição deste material em locais mais baixos, que podem ser depressões naturais do terreno ou reservatórios de água como rios, lagos, açudes ou represas, concluindo assim o processo erosivo.

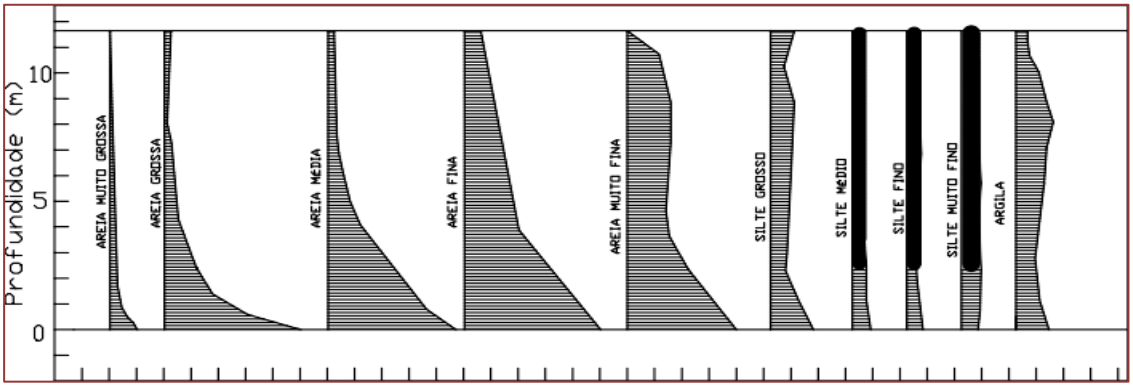
Alguns sedimentos são depositados apenas temporariamente, pois eventos subsequentes podem ressuspendê-los novamente e movê-los através do sistema de transporte, FOSTER (1982) e GOLDENFUN, (1991).

2.8. DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS NOS CURSOS DE ÁGUA.

A distribuição dos sedimentos nos cursos de água é diferenciada no tempo eno espaço. Portanto deve-se considerá-la numa vertical, na seção transversal, ao longo do curso de água e em relação ao tempo.

Atuando sobre a partícula em suspensão está a ação da velocidade da corrente na horizontal e da turbulência, que tendem a mantê-la em suspensão, e do seu peso, que tende a deslocá-la para baixo. Por esta razão, as partículas maiores têm uma distribuição na vertical que cresce da superfície para o leito, enquanto queos sedimentos finos, como silte e argila, apresentam uma distribuição praticamente uniforme ao longo da vertical. A figura 03 mostra, esquematicamente, como é a distribuição dos vários tipos de sedimento na vertical para uma dada condição de velocidade.

Figura 03 – Distribuição verticais teóricas dos sedimentos no curso de água em função da granulometria



Fonte: Morris e Fan, 1997

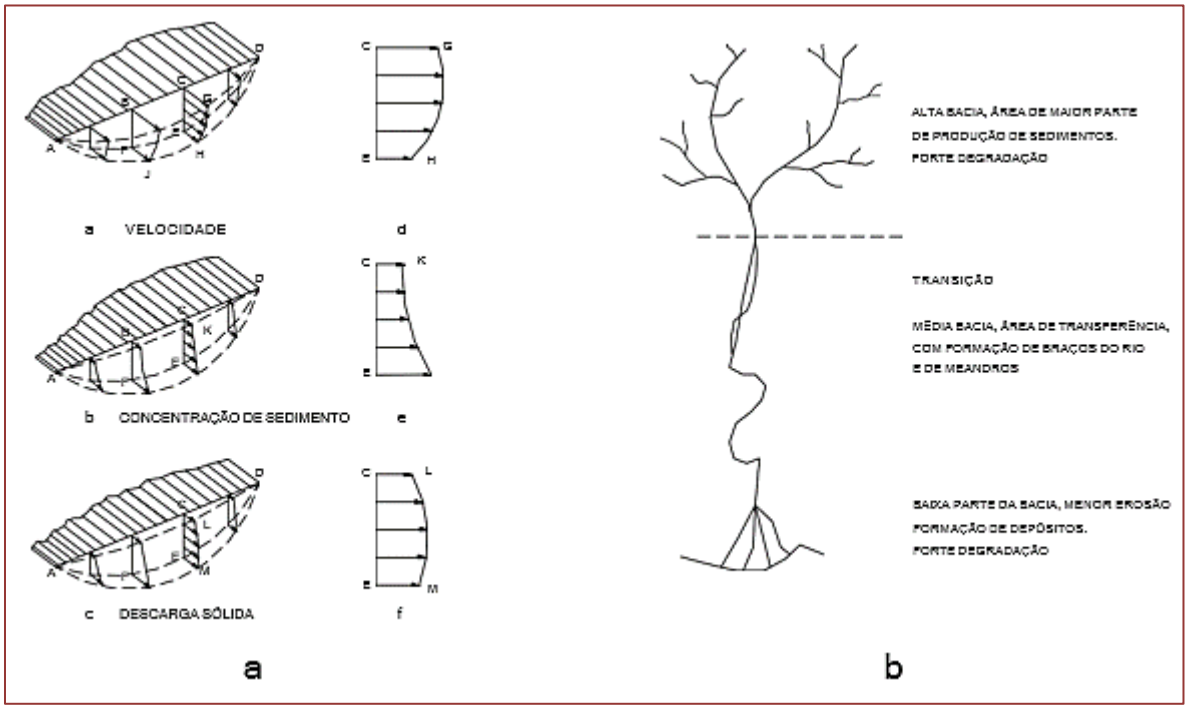
Uma vez que a velocidade é menor próximo às margens a concentração também será menor. A figura 4a evidencia que o máximo da descarga sólida é transportado pelas regiões de maior velocidade.

Outra característica da distribuição dos sedimentos ao longo dos cursos de água é representada pelo volume produzido e pela granulometria do material transportado (figura 4b).

De modo geral, o alto curso é a área da bacia com maior degradação e o rio transporta elevadas quantidades de material grosseiro, com predominância do

transporte de arraste; o médio curso é uma área de maior estabilidade, onde não há elevados acréscimos e perdas do volume transportado, que apresenta uma granulometria média; o baixo curso é uma região de degradação, onde predominaa deposição dos sedimentos e o rio acaba transportando somente partículas finas. Esta situação ocorre na maioria dos rios que apresentam perfil côncavo com declividades monotonamente decrescentes da nascente para a foz.

Figura 4a e 4b – Diagrama da distribuição da velocidade, da concentração e da descarga sólida na seção transversal (a) e esquema da distribuição dos sedimentos ao longo do curso de água (b),



Fonte: Carvalho, (1994).

2.9. CURVA CHAVE DE VAZÃO OU CURVA DE DESCARGA LÍQUIDA

Curva chave de vazão ou de descarga é a denominação dada para a relação existente entre o nível d'água e a vazão que escoa no leito fluvial. Segundo Chow et al (1998) a curva chave é construída plotando sucessivas medidas cota-descarga num gráfico.

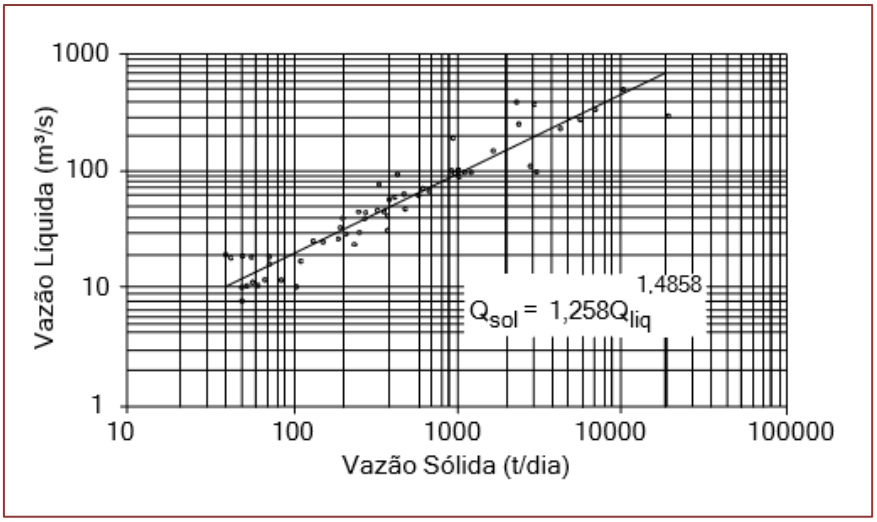
Para se determinar a curva chave são feitas várias medidas de campo realizadas em diferentes cotas do nível d'água. Estas medidas consistem na determinação da velocidade do escoamento em verticais representativas da seção usando-se o Molinete Hidrométrico ou Nautilus, e medidas de áreas de influência dessas velocidades ao longo de uma seção transversal do rio. A partirdas velocidades e das áreas são determinadas as vazões correspondentes. Tendo-se os níveis e suas respectivas vazões determina-se a curva-chave.

Chow et al (1998) lembra que estas curvas precisam ser checadas periodicamente, devido a diferenças que podem ocorrer, como a deposição de sedimentos, que para uma mesma cota pode fornecer vazões diferentes.

2.10. CURVA DE DESCARGA SÓLIDA

O comportamento da vazão tem relação com a distribuição dos sedimentosno tempo, ou seja, maiores vazões transportam maiores volumes de sedimento.Embora não seja linear e sofra grandes variações no espaço e no tempo, estarelação permite associar a massa de sedimentos transportados na unidade de tempo, ou descarga sólida, às vazões líquidas ocorridas na estação de medição, originando a "curva chave de sedimentos" ou "curva de descarga sólida" (fig. 5).

Figura 5 – Exemplo de curva de descarga sólida



Fonte: Santos, 2001

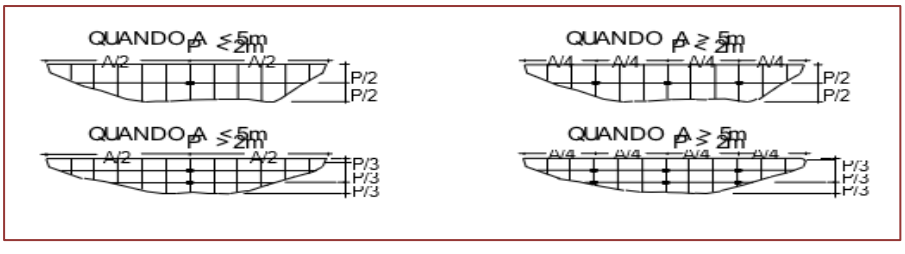
A curva chave de sedimentos, que nada mais é do que a equação de regressão sem o termo de erro, permite estimar os valores diários da descarga sólida ao longo do tempo a partir de medições esporádicas do transporte de sedimentos, desde que se disponha no local de uma série contínua de vazões líquidas médias diárias.

2.11. ESCOLHA DO TIPO DE AMOSTRA (ÁGUA + SEDIMENTO)

Para obter amostras representativas é preciso conhecer o local a ser amostrado e o seu comportamento, fazendo-se necessária uma primeiraamostragem mais detalhada de reconhecimento, como por exemplo, investigação das características da seção transversal para verificar a necessidade de uma amostra integrada. Em algumas situações, amostras compostas (aquelas em que várias amostras simples são coletadas em um mesmo ponto em diferentes horários e misturadas, no final do período, representando a característica média do corpo deágua amostrado no período de coleta) ou várias amostras simples (aquelas em que as amostras são coletadas em um ponto, num determinado instante e depositada em um frasco individual) são opções que poderão atender os objetivos do projeto.

Quando há variação grande de concentração na seção transversal, uma amostra integrada (amostras coletadas em vários pontos na seção transversal) para obtenção da concentração média da seção será necessária. Em função da largura e profundidade, a ABNT/NBR 9897 (1987) recomenda amostras simples ou integradas, conforme pode ser visualizado na figura 6, para seções com pouca profundidade, amostras simples tomadas a meia profundidade devem ser suficientes. Para grandes larguras (maior que 5 m) deve-se investigar mais de uma vertical. Para profundidades maiores que 2 m, recomenda-se mais pontos de amostragem por vertical.

Figura 06: Localização e pontos de amostragem ao longo da seção transversal de corpos receptores



Fonte: ABNT/NBR 9897, 1987

2.12. AMOSTRADORES DE SEDIMENTO

Os equipamentos de medição de amostragem de sedimento têm sido projetados e construídos de tal forma a apresentar uma precisão confiável. A escolha de um equipamento é sempre dependente das finalidades do estudo, dos recursos humanos e financeiros, do porte do curso d'água, da quantidade de sedimentos a medir, dentre outras exigências.

Para o objetivo de colher amostras de sedimento em suspensão durante as cheias, utiliza-se um amostrador de nível ascendente ANA descrito por UMEZAWA (1979) ou um amostrador manual de sedimentos em suspensão A M S – 1 .

2.13. TURBIDEZ

A turbidez da água é atribuída principalmente às partículas sólidas em suspensão que diminuem a claridade da mesma e reduzem a transmitância da luzno meio líquido. Esta transmitância diminui a medida que aumenta a quantidade de material particulado em suspensão, ou seja a turbidez aumenta com a carga de sedimento suspenso.

A turbidez é definida como grau do espalhamento da luz por partículas suspensas Morris e Fan, (1997). Entretanto, a turbidez depende, além da concentração dos sedimentos em suspensão, também de outras características do sedimento, tais como, tamanho, composição mineral, cor e quantidade de matéria orgânica.

Segundo Costa (1977) apud Corso (1989) cada manancial representa uma situação específica, pois tamanho, forma e refletividade das partículas em suspensão são propriedades óticas importantes que influenciam nas leituras turbidimétricas.

Geraldes (1984) apud Corso (1989), em estudos realizados no Ribeirão do Feijão — SP, correlacionou a turbidez com a concentração de sedimentos concluindo que a sensibilidade diminui com o aumento do tamanho da partícula.

Por este fato o autor sugere que a correlação entre turbidez e concentração desedimentos seja utilizada onde predominem partículas de silte e argila.

A avaliação da turbidez do escoamento é um dos métodos indiretos para a determinação da vazão sólida em suspensão, Corso (1999).

2.14. DETERMINAÇÃO DE SEDIMENTOS TRANSPORTADOS ATRAVÉS DE MEDIÇÕES CONTÍNUAS DE TURBIDEZ.

A determinação direta envolve grande volume de trabalho e dificuldade na instalação de equipamentos para monitoramento contínuos das perdas. Por essas razões os pesquisadores utilizam métodos alternativos para quantificar as perdas de sedimento.

Os métodos indiretos consistem no uso de equações ou modelos matemáticos e no estabelecimento de relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e outras características do fluxo, como: turbidez e vazão, BASSI (1990).

Estes métodos que procuram estabelecer relações entre sedimentos em suspensão e outras características do material escoado pelas vias de drenagemsão chamados hidrológicos e aqueles que relacionam sedimentos em suspensão e turbidez e sedimentos em suspensão e vazão segundo Walling (1977) apud Corso (1989), têm-se mostrado mais adequado.

Está claro que o processo de medição do transporte de sedimento é complexo, dispendioso e envolve basicamente a caracterização da seção transversal no momento da medição. Como as medições diretas de sedimento são efetuadas de forma descontínua (por ocasião da visita à estação) e muitas práticas exigem uma série temporal completa da descarga sólida, deve-se buscar soluções que permitam relacionar a descarga sólida com outros parâmetros medidos rotineiramente todos os dias.

Com o uso de novas tecnologias é possível tornar o monitoramento do transporte de sedimentos mais sistemático, econômico e preciso. Dentre esses pode-se citar o processo de monitoramento contínuo de turbidez para substituiçãoda curva de concentração de sedimentos. Com a possibilidade de monitorar em tempo real a turbidez da água por meio de sensores automáticos é possível medircontinuamente a variação do transporte de sedimentos no tempo. As unidades usadas para medir turbidez são vinculadas ao tipo de instrumento utilizado, destacando-se a NTU para turbidímetro nefelométrico, FTU para aparelhos baseados na observação da luz e a profundidade de Secchi no caso do disco de Secchi.

Embora o emprego de turbidímetros nefelométricos no monitoramento da carga de sedimentos suspensos apresente muitas vantagens existem também algumas desvantagens, entre as quais vale citar Morris e Fan, (1997):

- A medida da turbidez constitui-se em uma amostragem pontual e não representa necessariamente a média na seção;
- Os componentes ópticos do aparelho ficam sujeitos à ação de agentes dissolvidos na água e de algas;
- Medidas de turbidez não permitem o monitoramento da granulometria da curvade sedimentos.

No monitoramento contínuo de rios deve-se considerar que a relação entre concentração de sedimentos e turbidez, varia no tempo de acordo com as mudanças das fontes de sedimento, cargas orgânicas e calibração do sensor. Nota-se assim que os sensores de turbidez não dispensam as medições de descarga sólida.

2.15. RELAÇÃO ENTRE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E TURBIDEZ

A relação entre sedimentos em suspensão e turbidez apresenta bons resultados quando o instrumento de determinação da turbidez for calibrado parauma situação particular, com relativa homogeneidade no tipo de rocha e uma predominância de silte e argila nas partículas carreadas.

Costa (1977) estabeleceu em Western Run, Maryland a relação entre sedimentos em suspensão e turbidez através da equação $C = 0{,}631\ T^{1{,}19}$ (R^2=0,976).

Teixeira (2000) através do monitoramento de cinco bacias no Rio Juçu Braço Sul – ES, comprovou a existência de boa correlação entre dados de sólidos suspensos e turbidez, com erros relativamente baixos encontrados entre valores de sólidos suspensos monitorados e aqueles obtidos pela equação de regressão, tornando, segundo Teixeira " promissor o uso da turbidez para a determinação indireta de teores de sólidos em suspensão". A verificação da existência de correlação entre sólidos em suspensão e turbidez foram baseados na avaliação de coeficiente de determinação R^2, resultantes da

análise de regressão do tipo linear, exponencial, potência, alcançando um R^2 de 0,9821 com a seguinte equação:

$$SS = 1\ T + 6,3$$

Para a relação de R^2 igual a 0,9169 a equação foi:

$$SS = 4,8\ e^{0,1T}$$

Para a correlação de R^2 de 0,9850 a equação foi:

$$SS = 1T + 8,8$$

Onde:

SS – sólido suspenso (mg/L)T – turbidez (NTU)

Deve-se notar que em seu trabalho Teixeira (2000) alcançou estas correlações com uma faixa de turbidez baixa (menores que 100 NTU) e também não informa se a bacia era urbana ou rural.

Corso (1989) com o seu estudo da estimativa de produção da Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, em Santo Angelo — RS (bacia rural), a partirde medições de turbidez da água, constatou uma correlação de R^2 igual a 0,84para a época do ano em que o solo estava descoberto com a seguinte equação:

$$C = 8,435.\ T^{0,745}$$

Para a época do ano em que o solo estava coberto com a plantação a correlação chegou a $R^2 = 0,916$ com a seguinte equação:

$$C = 16,581.\ T^{0,657}$$

Onde:

C – concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)

T – turbidez (NTU)

Segundo o autor esta diferença de correlação deve-se ao fato de que comsolo descoberto ocorrem perdas de materiais grosseiros o que mostra que a correlação entre sólidos em suspensão e turbidez se comporta melhor com solos de granulometria fina (silte e argila).

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

3.1. INTRODUÇÃO:

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste livrocompreendeu os seguintes itens:

1. Medidas de descarga líquida no campo;
2. Coleta de amostras de sedimentos em suspensão ;
3. Análise em laboratório para determinação da concentração de sedimentos em suspensão e turbidez das amostras;
4. Análise em laboratório para determinação da distribuição granulométricado material em suspensão;
5. Monitoramento de estações fluviográfica e pluviográfica;
6. Determinação da turbidez em campo.

3.2. DESCRIÇÃO DA BACIA ESTUDADA

A bacia hidrográfica Alto da Colina é uma bacia pequena , com uma área de 1,75 km2 e perímetro de 6,08 km situando-se as margens da Rodovia RS 509 que liga o centro da cidade de Santa Maria (RS) ao bairro Camobi, tendo as coordenadas geográficas 53° 43’ 37’’ de latitude sul e 29° 41’ 70’’ de latitude oeste.

A bacia possui pouca declividade, 4,98% e uma diferença de altitude de 20 m entre a nascente e a foz. O rio principal possui 1,83 km de comprimento e uma declividade de 0,007 m/m.

Foi realizado um levantamento do uso da terra no local, através de análise de imagens de satélite, levantamentos topográficos periódicos e fotografia aérea. Conforme

os dados provenientes da interpretação de imagens de satélite entre os anos de 1997 e 1999, as mudanças no uso da terra na região vem contribuindo para o aumento do escoamento superficial na bacia hidrográfica, com aumento da urbanização, solo exposto e pastagem e redução da mata ciliar , Rampelotto et al (2000). A tabela 04 apresenta a distribuição do uso da terra em 1999 e a figura 07 mostra a aerofotografia da bacia Alta da Colina

Tabela 04. Uso da terra na bacia hidrográfica Alto da Colina.

Uso da terra	Área em 1999 (%)
Agricultura	6,89
Solo Exposto	7,47
Campo Nativo / Pastagem	31,93
Reflorestamento	3,64
Urbanização	37,93
Lâmina d'água	0,11
Mata ciliar	9,69
Não classificado	2,34

Fonte: Rampelotto et al(2000)

Figura 07 – Aerofotografia da Bacia Hidrográfica Alto da Colina

Fonte: Rampelotto et al(2000).

3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA

A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) contida entre os divisores topográficos, assim designados por dividir as precipitações que caem em bacias vizinhas. Segundo WISLER & BRATER, (1964), a área de drenagem é determinada pela estrutura geológica, e algumas vezes é influenciada pela topografia, e há um divisor subterrâneo ou freático que fixa os limites da área que contribui com água do solo para cada sistema de rios.

VILLELA & MATTOS (1975) citam dois coeficientes que determinam a formada bacia: o coeficiente de compacidade e o fator de forma. O coeficiente de compacidade (Kc), também chamado de índice de Gravellius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um circulo de área igual a da bacia. É expresso pela equação 04, onde **P**, em Km, e **A**, em Km^2, são respectivamente, o perímetro e a área da bacia:

$$K_C = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (4)$$

O Retângulo Equivalente, conforme VILLELA & MATTOS (1975), foi introduzido por hidrologistas franceses com o objetivo de comparar a influência da bacia sobre o escoamento, e consiste de um retângulo de área igual a da baciacom características de relevo representativas.

É um retângulo de comprimento **Le** e largura **le**, com perímetro e área iguaisa da bacia. No retângulo equivalente traça-se as curvas de nível paralelas a largura, de maneiras a manter as áreas correspondentes da bacia, respeitando-sea hipsometria natural. Para o cálculo pode-se utilizar as seguintes equações:

$$L_e = 0{,}89 \cdot Kc \cdot \sqrt{A}\left[1 + \sqrt{1 - \left({}^{1{,}2}/_{kc}\right)^2}\right] \qquad (5)$$

$$le = \frac{P}{2} - L_e \qquad (6)$$

Onde:

Kc = coeficiente de compacidade;

A = área da bacia, em Km^2;

P = perímetro da bacia, em Km

3.4. CLIMA E SOLOS

Segundo Moreno (1961) a região em estudo de acordo com a classificaçãode Kooppen, se caracteriza como sendo do tipo Cfa , apresentando clima subtropical úmido, sem estiagens, com as seguintes características:

Temperatura média do mês mais frio entre –3°C e 18°C;

Temperatura média do mês mais quente superior a 22°C;

Temperatura média anual em torno de 20°C

As precipitações no município são regulares durante o ano todo, semestação seca definida, com índices pluviométricos anuais entre 1500 mm a 1700 mm, sendo os meses mais chuvosos março, novembro e dezembro.

Segundo Azolin e Mutti (1988) o solo formador da bacia estudada é o Podzólico Bruno Acinzentado álico (PB al). Estes solos ocorrem na unidade geomórfica parte baixa (depressão), caracterizando regiões com solos pouco profundos, entre 50 e 100 cm. O relevo neste solo é o suave ondulado, com declividades oscilando entre 3 a 8%.

3.5. PROCEDIMENTOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

3.5.1. ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Para a medição da quantidade de água precipitada, utilizou-se os dadoscoletados no pluviógrafo instalado na localidade denominada Vila Maria.

A estação pluviométrica Vila Maria, figura 08, tem sua localização em Santa Maria – RS, Bairro São José.

Figura 08 – Estação Pluviométrica Vila Maria.

Ela está instalada desde o ano de 2000 e é provida de um dispositivo pluviométrico digital (Pluvio), que registra continuamente a intensidade de precipitação, discretizada conforme a necessidade do usuário.

O Pluvio é um dispositivo de alta tecnologia, desenvolvido na Alemanha pela empresa OTT, empresa mundialmente conhecida pelo desenvolvimento de equipamentos de hidrometria. Este dispositivo é na realidade uma versão modernado ainda muito utilizado pluviógrafo e permite monitorar continuamente a quantidade e intensidade de chuva aliada à precisão desejada (até 0,01 mm), gravando os dados computados em sua memória.

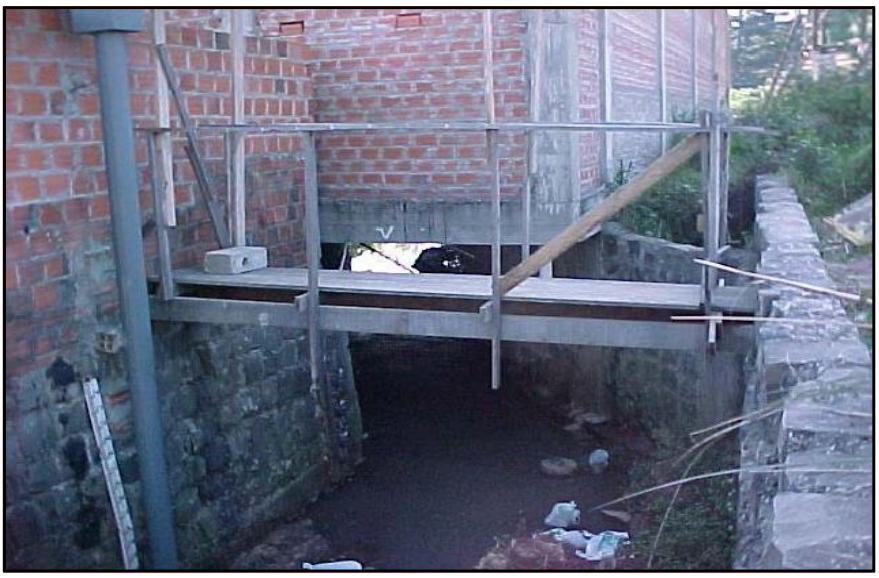
3.5.2. ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

O monitoramento fluviométrico foi realizado na estação Alto da Colina I.

A Estação Alto da Colina I, figura 09, tem sua localização em Santa Maria —RS, Bairro Camobi, Loteamento Alto da Colina, às margens da rodovia RS-509. Elaestá instalada desde 01/10/1999.

Nesta estação existe uma régua e um registrador de nível eletrônico do tipo Thalimedes, que registra os níveis do rio em intervalos de tempo definido pelo usuário.

Figura 09 – Estação Fluviométrica Alto da Colina I.



Na figura 10 pode-se ver a localização das estações pluviométrica e fluviométrica**.**

Figura 10 – Bacia Hidrográfica Alto da Colina com a localização da estação fluviométrica e pluviométrica.

3.6. MEDIDA DE DESCARGA LÍQUIDA

As medidas de descarga líquida foram realizadas na estação fluviométrica já citada.

Para tal medida, foram usados o Molinete Hidrométrico e o Nautilus.

Durante eventos chuvosos, foram determinadas as vazões na estação fluviométrica, através do método de integração vertical, método este que consistena divisão da seção em faixas verticais, onde são feitas medidas de velocidade em cada vertical a uma profundidade representativa da seção.

3.7. MEDIDA DE DESCARGA SÓLIDA

A descarga sólida total é considerada como sendo composta por duasparcelas distintas assim divididas:

$$Q_{st} = Q_{ss} + Q_{sl} \quad (7)$$

Onde:

Qst – descarga sólida total (ton/dia);

Qss – descarga sólida em suspensão (ton/dia);Qsl – descarga sólida do leito (ton/dia).

3.7.1. DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

O sedimento em suspensão representa, na maioria dos casos, a maior quantidade de descarga sólida total. Por essa razão e também pela facilidade de determinação, as medições diárias e a maior parte das eventuais só contemplam o sedimento em suspensão. Segundo Carvalho (1994) a descarga em suspensão pode corresponder, em média entre 70 a 95 % da descarga sólida total, sendo isso função da posição da seção transversal no curso da água e outros fatores.

As medidas de sedimento em suspensão foram feitas com o objetivo de determinar a concentração média de sedimentos em suspensão em laboratório por filtração da amostra, a descarga sólida em suspensão e a distribuição granulométrica dos sedimentos presentes no material coletado.

Para a determinação da concentração de sedimentos foram coletadas em amostras integradas na profundidade, em verticais representativas da seção, adotando como critério de amostragem o enchimento de aproximadamente 2/3 da garrafa do amostrador (capacidade de aproximadamente 500mL), para que não ocorra refluxo do material no interior da garrafa, com uma velocidade de trânsito do aparelho, igual na subida e na descida.

Foram coletadas também amostras para determinação da distribuição granulométrica do material em suspensão, sempre que houve disponibilidade dematerial em quantidade suficiente para este objetivo.

3.7.1.1. MEDIDA DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

Segundo Vanoni (1977) a descarga sólida em suspensão medida é, por definição, o produto da concentração de sedimentos em suspensão pela vazão líquida medida no momento da amostragem. Portanto, o cálculo da descarga sólida em suspensão é o mais simples de ser realizado e também o que oferece melhor aproximação da realidade sendo assim definido:

$$Q_{ss} = 0{,}0864 \times Q_{liq} \times C_m \qquad (8)$$

Onde:

Qss – descarga sólida (ton/dia);

Q liq – vazão líquida (m^3/s);

Cm – concentração média de sedimentos em suspensão(mg/L ou ppm);

0,0864 – constante de ajuste de unidades.

3.8. EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE AMOSTRAS DE MATERIAL EM SUSPENSÃO

Nas coletas de amostras de sedimentos em suspensão foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Amostrador US – DH – 48
- Amostrador de nível ascendente ANA

3.8.1. AMOSTRADOR US – DH - 48 - A M S -1

O amostrador US – DH – 48 ou A M S –1 de fabricação nacional, (figura 11)é construído em alumínio com corpo de forma hidrodinâmica, tendo haste para operação a vau ou de canoa, em profundidade baixas, até 2,7 m, é um amostrador integrador na vertical. Utiliza bico de ¼" e garrafa de 0,5 L, sendo a distância do bico ao fundo do amostrador igual a 0,091m Carvalho (1994).

A coleta das amostras deve ser feita de forma que o tempo de descida seja igual ao tempo de subida, procedimento este conhecido como IVT (Igual Velocidade de Trânsito), (Carvalho, 1994) e a garrafa com a amostra fique com aproximadamente ¾ do seu volume.

Figura 11: Amostrador US – DH – 48

3.8.2. AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE ANA

O amostrador de nível ascendente ANA, confeccionado como descrito por UMEZAWA (1979), coleta amostras durante a subida da onda da cheia, emposições pré-determinadas. Estas posições para o ANA instalado na baciahidrográfica Alto da Colina, figura 12, estão distanciadas entre si de 10 centímetros.

O amostrador de nível ascendente ANA, faz a coleta de amostras pelo método pontual instantâneo.

Este amostrador tem como principal finalidade coletar amostras em períodos em que é muito difícil a equipe chegar até a estação fluviométrica. A distribuição temporal das precipitações em Santa Maria, RS, conforme descrita por Paiva em 1997 mostra que 69% de toda a precipitação ocorre entre às 00:00 e 06:00 horas,portando períodos bastante problemáticos para coletas.

Figura 12: Amostrador de nível ascendente ANA instalado na bacia hidrográficaAlto da Colina.

3.9. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Para análises e cálculos nos estudos sedimentométricos, a análisegranulométrica tanto do material em suspensão como o de fundo é de muita

importância, pois é com a composição granulométrica que parâmetros da MUSLEsão determinados.

A escolha do método de análise granulométrica é feita em função da quantidade do sedimento na amostra e da qualidade do sedimento.

3.9.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

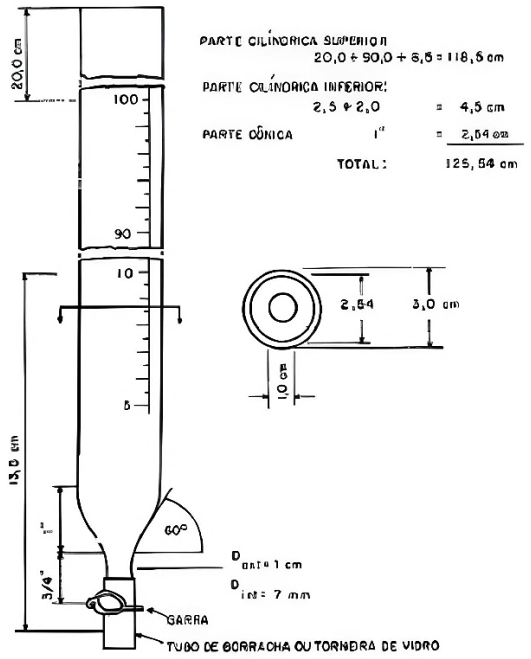
A análise granulométrica do material em suspensão foi feita pelo método do tubo de retirada pelo fundo (Figura 13), pois este permite a utilização de menor concentração de sedimento, entre 300mg/L a 10000 mg/L, e os limites de granulometria situam-se entre 0,002 — 1,0mm. Conforme Tabela 05.

TABELA 05 – Limitações de análise granulométrica para os métodos maisUsuais Guy, (1969) e USDA (1978).

Método	Limites de Granulometria (mm)	Limites de Concentração (mg/L)	Quantidade de Sedimentos (g)
Peneiras	0,062 - 32	----	0,05
Tubo de acumulação visual	0,062 – 2,0	----	0,05 – 15,0
Densimetro	0,002 – 0,0062	40.000 – 50.000	0,04 – 0,05
Pipeta	0,002 – 0,062	3.000 – 10.000	1,0 – 5,0
Tubo de retirada pelo fundo	0,002 – 1,0	300 – 10.000	0,5 – 1,8

Fonte: Carvalho (2003)

Figura 13: Tubo de retirada pelo fundo para análise granulométrica de material Fino



Fonte: Carvalho et al, (1994).

A execução do método conforme descrita por Carvalho (1994) está abaixo resumida:

1. A partir das garrafas de amostras, é feita a retirada de 50 cm^3 de sobrenadante para um becker, para determinar o teor de sais solúveis.
2. Coloca-se a amostra no tubo, anota-se o nível atingido na graduação. Completa-se o tubo com água destilada até a marca 100. Esse, devidamente arrolhado, é basculado repetidamente durante 5 minutos.
3. Retira-se a bolha de ar contida no tubo, inclinando-se 10 graus com a horizontal, agita-se novamente e coloca-se o tubo no suporte na posição vertical. Retira-se a rolha para a retirada das amostras.
4. Sucessivas retiradas de amostras são feitas, contadas a partir do início, nos tempos: 0,5; 1; 2; 5; 13; 32; 80; 160; 450 minutos.
5. Cada amostra retirada corresponde a 10 cm da graduação. É feita a leitura do nível no tubo, com precisão de 0,1mm e anotada em formulárioespecífico, bem como os procedimentos para o preenchimento das colunas.
6. Transferem-se as 10 porções colhidas para a estufa onde permanecerampor 24 horas para a evaporação. Após, são mantidas à temperatura ambiente em dessecador a vácuo, estando assim, as amostras prontas para a pesagem.

3.9.1.1. TRAÇADO DA CURVA DE ODEN

A distribuição granulométrica foi obtida graficamente, utilizando-se a curva de Oden, traçada em papel milimetrado, onde, em escala horizontal, plotou-se o tempo de deposição em minutos e, em escala vertical, a porcentagem de sedimento em suspensão.

Com as curvas traçadas, emprega-se, a "Tabela de Tempo para ser usada com a curva de Oden" descrita em Carvalho (1994, p. 146).. Nessa tabela, lêem-se os valores referentes a cada diâmetro-padrão. Estes são levados ao gráfico da curva de Oden, pelos quais traçam-se tangentes, que conduzidas até o eixo vertical, fornecem as porcentagens correspondentes ao diâmetro considerado.

Marcando-se esses resultados em papel bilogarítmico, com o diâmetro dosgrãos em escala horizontal e, em escala vertical a porcentagem obtida da curva de Oden. Com

isso, obtém-se a curva granulométrica da amostra analisada.

3.10. ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Após o acondicionamento correto das garrafas com amostras de sedimentos em suspensão, as mesmas são encaminhadas ao laboratório para sua análise, sendo adotado o método de filtração conforme o método do Task Commitee (1969), consistindo nas seguintes etapas:

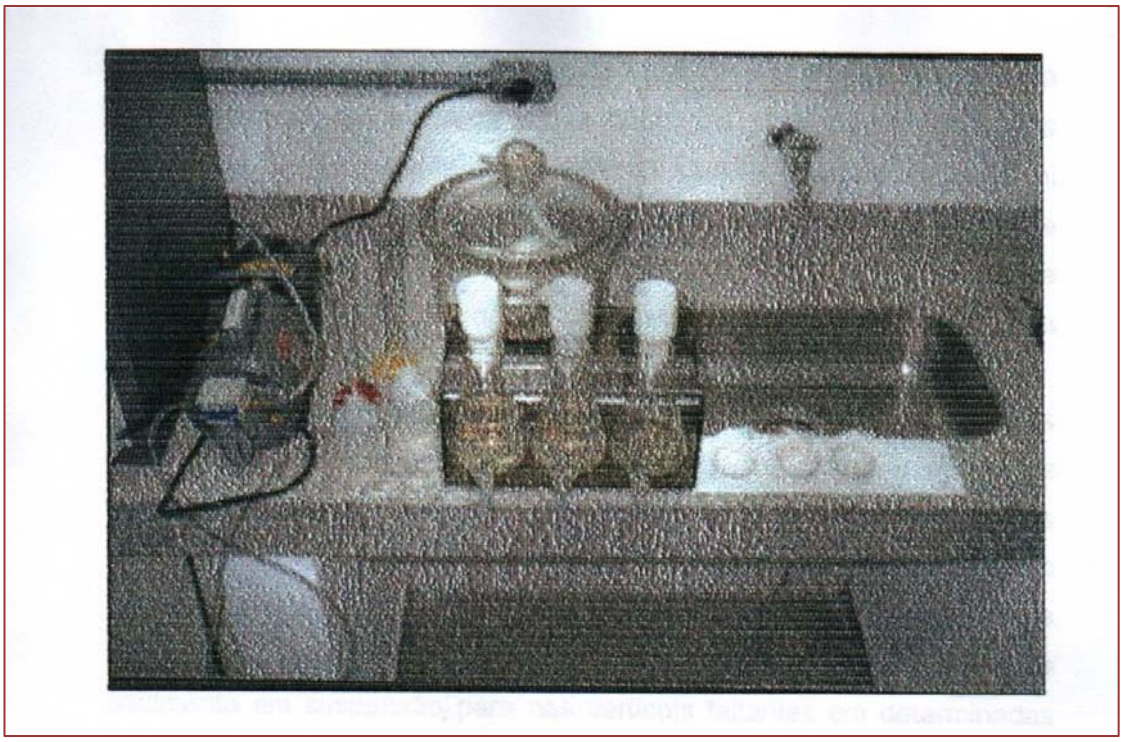
1. Secagem do filtro de fibra de vidro + a cápsula de porcelana no forno mufla a 600°C;
2. Pesagem do filtro + cápsula, após o resfriamento em dessecador, obtendo o valor da tara (ta);
3. Filtra-se uma amostra de 100 mL, homogeneizada, do material coletado no campo;
4. Após filtragem leva-se a cápsula com filtro para a estufa a 105°C durante 24 horas;
5. Passadas 24 horas espera-se que o conjunto cápsula + filtro + material volte a temperatura ambiente dentro do dessecador, quando é novamente pesado , obtendo-se o valor Pst;
6. Feita a pesagem leva-se a cápsula novamente ao forno mufla por 15 minutos;
7. Pesa-se novamente a cápsula quando a temperatura chegar a temperatura ambiente, estando dentro de dessecador, resultando no valor Pss.

Com estes pesos calcula-se a concentração dos sólidos fixos (Css)conforme a equação:

$$C_{ss}(ppm) = \frac{P_{ss} - t_a}{10000} \qquad (9)$$

A figura 14 mostra os equipamentos utilizados para o processo de filtragem.

Figura 14: Sistema de filtração – Departamento de Hidráulica e Saneamento do Centro de Tecnologia da UFSM



3.11. DADOS DE TURBIDEZ

Os dados de turbidez foram obtidos com a utilização da Mini-sonda Hydrolab 4 A e também com o turbidímetro modelo SL2K. (figura 15 a e 15 b).

Após a calibração da Mini-sonda esta é colocada na estação fornecendoem tempo real a turbidez em unidade (NTU), oxigênio dissolvido, temperatura e o pH do curso d'água.

Para a utilização do turbidímetro SL2K em laboratório, calibra-se o mesmoe coloca-se a amostra de água no aparelho, e na escala adequada é feita a leiturado resultado em unidades de turbidez (NTU).

Na figura 15 encontra-se as fotos da mini-sonda Hidrolab 4 A (a) e do turbidímetro SL2K (b):

Figura 15: (a) Mini-sonda Hydrolab 4 A e (b) Turbidímetro SL2K

(a) (b)

3.12. RELAÇÃO ENTRE TURBIDEZ E CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

As coletas de amostras de sedimentos em suspensão na bacia hidrográficaAlto da Colina, tiveram início em setembro de 2000. As amostras foram coletadas por ocasião dos eventos de chuvas, pois o objetivo era a obtenção de pontos com diferentes concentrações de sedimentos e turbidez para a formação de conjuntos de dados e estabelecimento de correlações, para que se pudessem estimar a concentração de sedimento em suspensão através de dados de turbidez, uma vezque a coleta de turbidez é menos dispendiosa, em termos financeiros, tempo e mãode obra.

As amostras coletadas foram analisadas no laboratório de Hidráulica e Saneamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria,onde se determinou a concentração de sedimento em suspensão através do método de filtração e pesagem.

3.13. DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

3.13.1. MODELO UTILIZADO

A escolha do modelo foi devida a sua larga aplicação em pequenas bacias hidrográficas, tendo sido testadas em áreas entre 0,01 a 234 Km^2 e declividades entre 1 e 30%, somando a facilidade de obtenção dos parâmetros para sua aplicação. Além de sua utilização no planejamento do controle da erosão, a MUSLE tem sido utilizada em conjunto com outros modelos no planejamento de recursos hídricos, podendo-se citar os trabalhos de PAIVA et al (1995).

Apresenta-se a seguir a descrição deste modelo e a metodologia adotadapara a estimativa de seus parâmetros.

3.13.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLAO MODIFICADA - MUSLE

A MUSLE (Williams, 1975) tem a seguinte forma, conforme citado no item 2.6.1:

$$Y = a(Qs^{*}qp)\text{bK. LS. C. P} \qquad (10)$$

Sendo que:

Y = sedimento produzido por uma chuva individual, em toneladas;

Qs = volume de escoamento superficial, em m^3;

qp = vazão de pico do escoamento superficial, em m^3/s; a = 89,6;

b = 0,56.

K = fator de erodibilidade do solo, em t.h-1.MJ.mm-1 – representa a intensidade da erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, porém sofrendo as operações culturais normais.

L = fator de comprimento de declive – representa a relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;

S = fator de grau do declive – representa a relação de perda de solo entre um

declive qualquer e um declive de 9% para um mesmo solo e comprimento de rampa;

C = fator de uso e manejo do solo – representa a relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto;

P = fator de prática conservacionistas – representa a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática conservacionista e as perdas de solo quando plantado morro abaixo.

3.13.2.1. ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS

Os parâmetros da MUSLE que necessitam ser estimados são K, LS, C e P.

O fator K é obtido para cada tipo de solo através da equação proposta por Wischemeier e Smith (1961) dada por:

$$K = [2{,}1M^{1{,}14*}10^{-4}(12 - K_a) + 3{,}25(K_b - 2) + 2{,}5(K_c - 3)] \times {}^{1{,}313}/_{100} \quad (11)$$

Onde: K = fator de erodibilidade do solo, dado em (t.ha./(Mj.ha.cm.h);

M = (% de silte + areia muito fina) / (100 - % de argila);

Ka = % de matéria orgânica;

Kb = coeficiente relativo à estrutura do solo;

Kc = classe de permeabilidade;

Na existência de mais de um tipo de solo na bacia a ser estudada, o valor de K é obtido através da média ponderada dos valores de K de cada solo, tendo como ponderador a área.

O fator LS é obtido da equação (Williams e Berndt, 1977)

$$LS = \left({}^{L}/_{22{,}1}\right)^{m} (0{,}065 + 0{,}0454S + 0{,}0065S)^2 \quad (12)$$

Onde ,

m= 0,2 para S<0,5 ;

m=0,3 para 0,5≤S≤3,5 ;

m=0,5 para S≥3,5 ;

Para a determinação de L utilizou-se a quarta parte do retângulo equivalente conforme Paiva (2001):

$$L = {le}/{4} \quad (13)$$

$$le = \left({k_{cx}(A)^{1/2}}/{1{,}128}\right) \times \left(\left(1 - \left(\left(1 - \left({1{,}128}/{K_c}\right)^2\right)\right)^{1/2}\right)\right) \quad (14)$$

Sendo:

Kc = 0,282 x (P / (A)1/2)

P é o perímetro da bacia em Km; A é a área da bacia em Km2.

O valor de C é dependente do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura, condição de cobertura do solo e época do ano. No caso de existir mais que uma cultura sobre a bacia, o valor de C é obtido pela média ponderada dos valores de C de cada cultura, tendo como ponderador a área .

O valor de P é obtido em função de práticas conservacionistas e de manejo utilizadas na bacia.

Para o cálculo do fator P foi adotada a equação (15), proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1990) apud Carvalho (2003), dada por:

$$P = 0{,}69947 - 0{,}08911 \times S + 0{,}01184 \times S^2 - 0{,}000335 \times S \quad (15)$$

Onde:

S – declividade do terreno, em %.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA ESTUDADA

A bacia hidrográfica estudada tem uma área de 1,75 km² e perímetro de 6,08 km.

O coeficiente de compacidade (Kc) calculado foi de 1,26. Se outros fatores interferentes na bacia permanecerem constantes, a tendência para maiores enchentes é maior para bacias com coeficientes de compacidade próximo da unidade.

4.2. CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

O relevo da sub-bacia Alto da Colina I , componente da bacia hidrográficado arroio Vacacaí Mirim, é em sua totalidade pertencente a região fisiográfica da depressão central, tendo como característica de relevo nesta região o solo suave ondulado, com declividade entre 3% a 8%.

A bacia Alto da Colina I apresenta declividade de 4,98% e uma diferençaentre de 20 metros entre a nascente e a foz.

4.2.1. RETÂNGULO EQUIVALENTE

O retângulo equivalente, determinado conforme descrito em Villela & Mattos (1975) tem as seguintes medidas:

Le – comprimento do retângulo equivalente é igual a 0,748 Km

le – largura do retângulo equivalente é igual a 0,187 Km

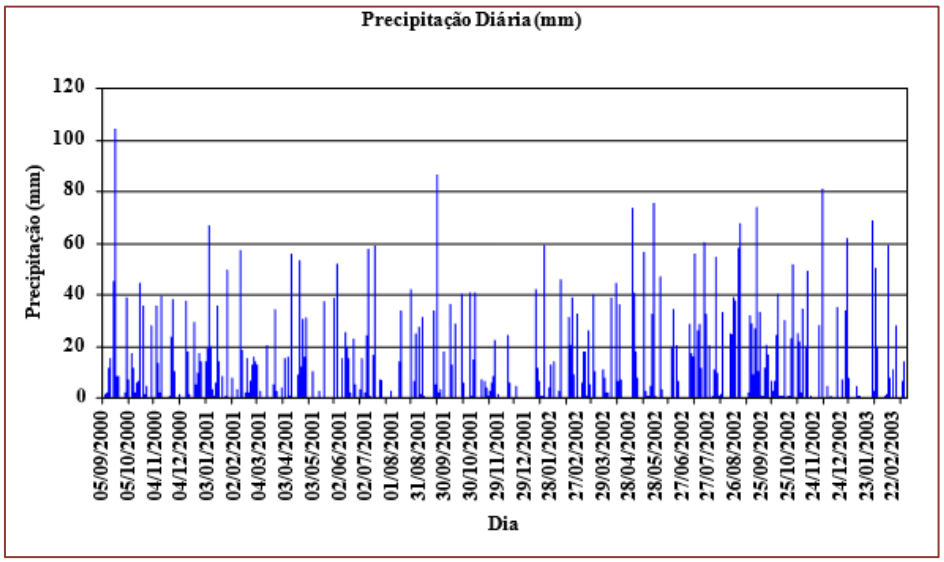
4.3. DADOS MONITORADOS

4.3.1. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados de precipitação utilizados no estudo são do pluviômetro da estação Vila Maria, complementados com os dados da Estação Meteorológica da UFSM, quando a estação Vila Maria por algum motivo apresentou falha.

A figura 16 apresenta um gráfico de precipitação diária da estação pluviométrica Vila Maria, no período de setembro de 2000 a março de 2003.

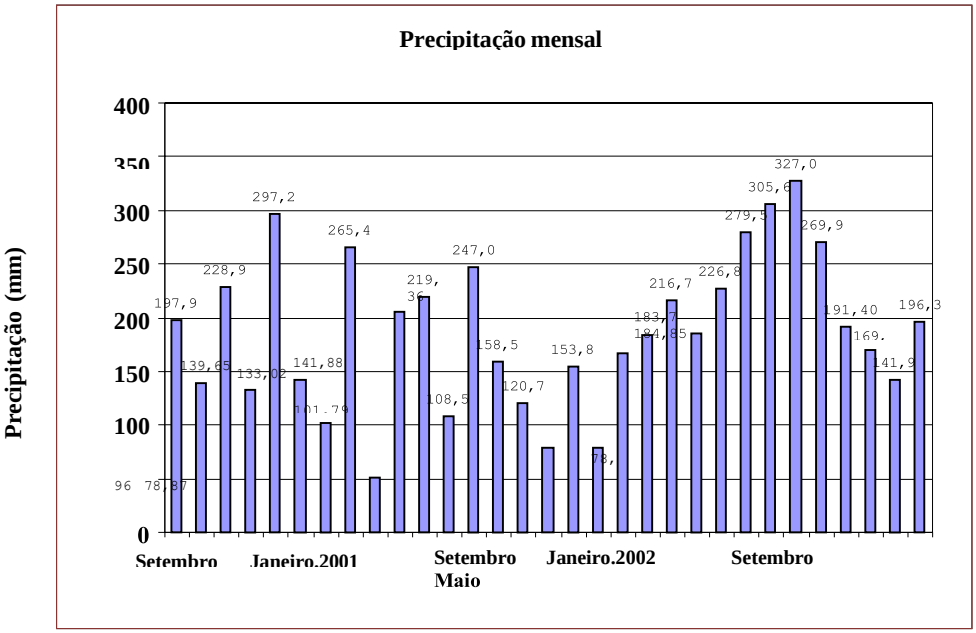
Figura 16: Gráfico de precipitação diária entre setembro de 2000 a março de 2003



Na figura 16, onde é mostrada a precipitação diária entre setembro de 2000 e março de 2003, verificou-se que o dia de maior precipitação neste período foi em21 de setembro de 2000 com 103,95 mm e o dia de menor precipitação foi no dia14 de agosto de 2002 com 0,03 mm.

A seguir a figura 17 apresenta os dados de precipitação mensal no período de setembro de 2000 a março de 2003, no qual é possível visualizar que o mês demenor precipitação foi de maio de 2001 com 51,12 mm e o de maior precipitação foi o mês de outubro de 2002 com 327,02 mm.

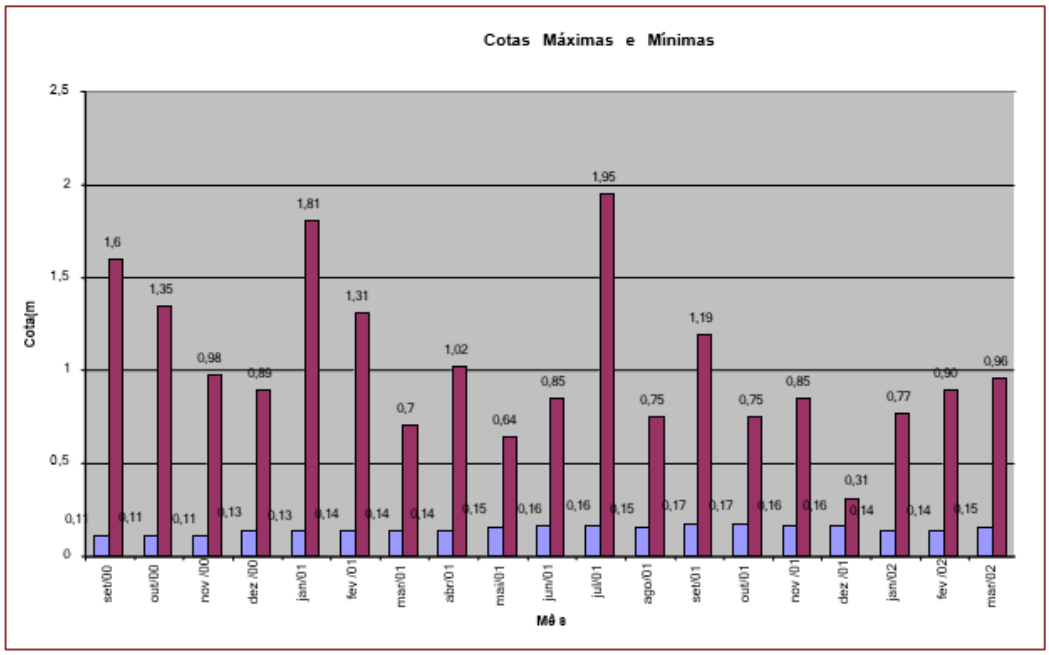
Figura 17: Gráfico da precipitação mensal no período de setembro de 2000 amarço de 2003.



4.3.2. DADOS FLUVIOMÉTRICOS

A figura 18 apresenta o gráfico contendo as cotas mínimas e máximas mensais registradas pelo registrador digital de nível (Thalimedes) entre o períodode setembro de 2000 a março de 2002.

Figura 18: Gráfico contendo cotas mínimas e máximas no período de setembro de 2000 a março de 2002



Na figura 18 é mostrado o gráfico com as cotas mínimas e máximas mensais no período de setembro de 2000 a março de 2002, verifica-se que a maiorcota ocorreu no mês de julho de 2001 com 1,95 metros e as menores foram nos meses de setembro, outubro e novembro de 2000, todas com 0,11 metros.

4.4. VAZÃO

Durante determinados eventos chuvosos foram determinadas as vazões na estação fluviométrica através do método de integração vertical, para isso se subdivide a seção em faixas verticais, e são feitas medições de velocidade em cada vertical a uma profundidade representativa desta seção.

4.4.1. CURVA-CHAVE DE VAZÃO

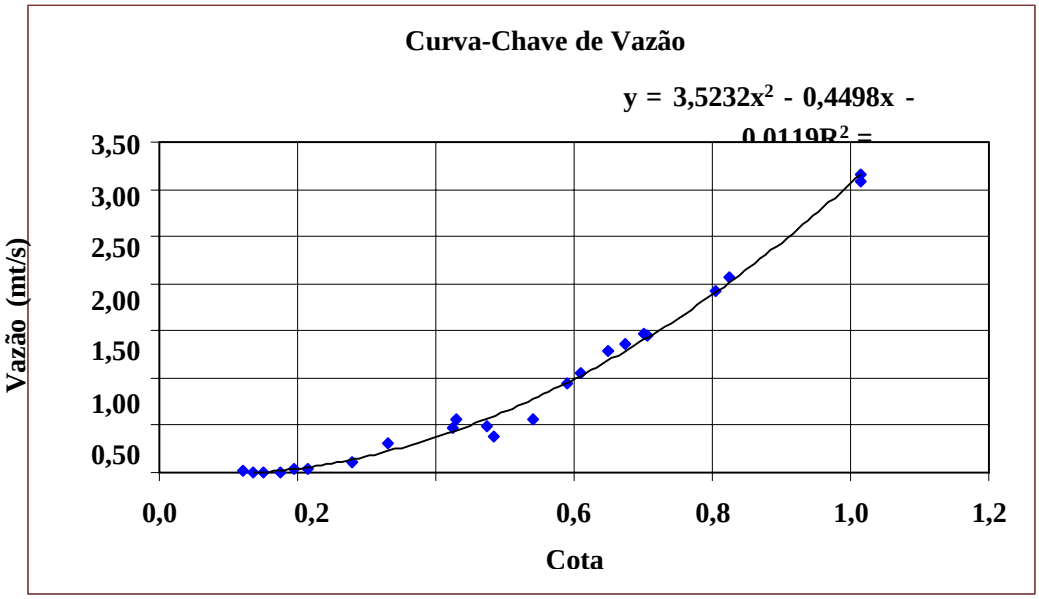
Com os dados coletados em campo na estação fluviométrica (Tabela 06),de cota e vazão se pode determinar a equação de curva-chave e fazer o seu gráfico (figura 19).

Tabela 06: dados coletados em campo na estação fluviométrica de cota evazão

Data	cota	Vazão
31/01/2000	0,215	0,034
13/03/2000	0,590	0,948
21/03/2000	0,135	0,006
29/03/2000	0,675	1,360
12/04/2000	0,475	0,492
28/04/2000	0,280	0,110
07/06/2000	0,700	1,470
16/06/2000	0,540	0,559
29/06/2000	0,825	2,073
05/09/2000	0,175	0,006
12/09/2000	0,195	0,032
21/09/2000	1,015	3,080
27/09/2000	0,120	0,017
14/12/2000	0,330	0,301
02/04/2001	0,15	0,003
12/04/2001	0,805	1,919
28/04/2001	0,425	0,467
01/06/2001	0,485	0,373
11/07/2001	0,65	1,287
31/08/2001	0,705	1,443
04/09/2001	0,43	0,570
30/09/2001	1,015	3,161
07/11/2001	0,61	1,058

Temos o gráfico (figura 19), que apresenta o gráfico da curva-chave obtida no período de monitoramento.

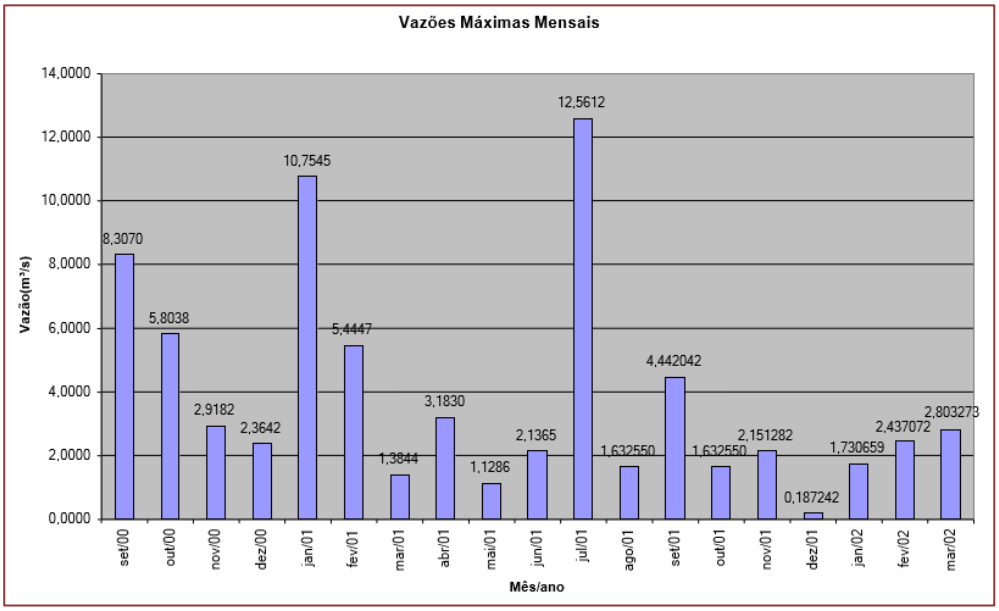
Figura 19. Curva-Chave de Vazão.



4.4.2. VAZÕES MÁXIMAS MENSAIS

Usando a equação da curva-chave e as cotas máximas da estaçãofluviométrica Alto da Colina, construímos o gráfico de vazão máxima mensal (figura 20).

Figura 20: Gráfico de vazões máximas mensais.



Na figura 20 é mostrados o gráfico com as vazões máximas mensais no período de setembro de 2000 a março de 2002, verifica-se que a maior vazão mensal ocorreu no mês de julho de 2001 com 12,5612 m^3 e a menor vazão mensalfoi no mês de dezembro de 2001 com 0,1872 m^3.

4.5. DADOS SEDIMENTOLÓGICOS

A coleta dos dados sedimentológicos teve por objetivo, em última análise, avaliar a produção de sedimentos produzidos na bacia Alto da Colina I, bacia urbana.

Para esta avaliação foram coletados na estação fluviométrica Alto daColina I amostras de água-sedimento com o objetivo de determinar a concentração de sedimentos, a turbidez, a vazão para as respectivas cotas registradas nolinígrafo.

Os dados coletados para esta pesquisa encontram-se no anexo 01.

4.5.1. CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Com os objetivos de determinar o volume de sedimentos transportados em suspensão na seção em estudo e que foram produzidos na bacia vertente por ocasião das chuvas ocorridas sobre a bacia e o de estabelecer uma correlação entre esta concentração e a turbidez, foram coletadas, durante os eventos de cheia, amostras da mistura água mais sedimento para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão.

Essas amostras foram coletadas em diferentes níveis linimétricos na seção,visto que a concentração do sedimento é variável com o passar da onda de cheia.

As amostras foram obtidas através de um amostrador automático de nível ascendente (ANA) instalado na seção, que coletava amostras a cada 10 cm de subida da onda de cheia, e obtidas manualmente “a vau” em diferentes cotas na seção.

Durante o período de setembro de 2000 à março de 2003 foram coletadas amostras em 45 eventos de chuva o qual totalizaram 215 amostras de mistura água-sedimentos divididas assim em termos de amostrador e análise de turbidez:

24 eventos no qual foram coletadas 92 amostras de água-sedimento com amostrador ANA-78 e medição de turbidez com turbidímetroSL2K,

16 eventos no qual foram coletadas 100 amostras de água-sedimentocom amostrador US-DH-48 — AMS1 e medição de turbidez com turbidímetro SL2K

05 eventos no qual foram coletadas 23 amostras água-sedimento comamostrador US-DH-48 — AMS1 e medição de turbidez em tempo real com a mini-sonda Hydrolab 4 A.

4.5.1.1. RESULTADOS OBTIDOS COM AMOSTRADOR US-U-59 - ANA

Foram coletadas amostras de água, através do amostrador de nível ascendente automático ANA, em 13 eventos de chuva, no período de setembro de2000 a julho de 2002. Concordando com observações de De Luca,S.J. (1991), os sólidos orgânicos representaram somente 7% dos sólidos totais e esta relação manteve-se constante, como se pode observar na figura 21. Os valores observados de concentração de sedimentos (sólidos totais) apresentaram média de 2430 mg/L,desvio padrão de 1868 mg/L, valor máximo observado de 8518 mg/L e mínimo observado de 468 mg/L, nos eventos chuvosos. A figura 22 apresenta gráfico que relaciona a concentração de sedimentos com a vazão (m^3/s). Pode-se observar que a correlação não foi satisfatória, impossibilitando a determinação da curva chave de sedimentos. Tendo em vista as dimensões da bacia e a diversidade de uso do solo, as contribuições apresentam grande dependência do período analisado. Paiva et al (2001), utilizando esta metodologia para uma pequena baciarural, observou que embora o conjunto de dados não se correlacionasse, quando foram utilizados dados de eventos isolados a correlação cota x concentração e cotax vazão ficou na faixa de 90%. No entanto, neste caso esta constatação não foi verificada, conforme se observa nas figuras 23 a 26.

Figura 21. Relação entre a concentração de sólidos totais e sólidos fixos.

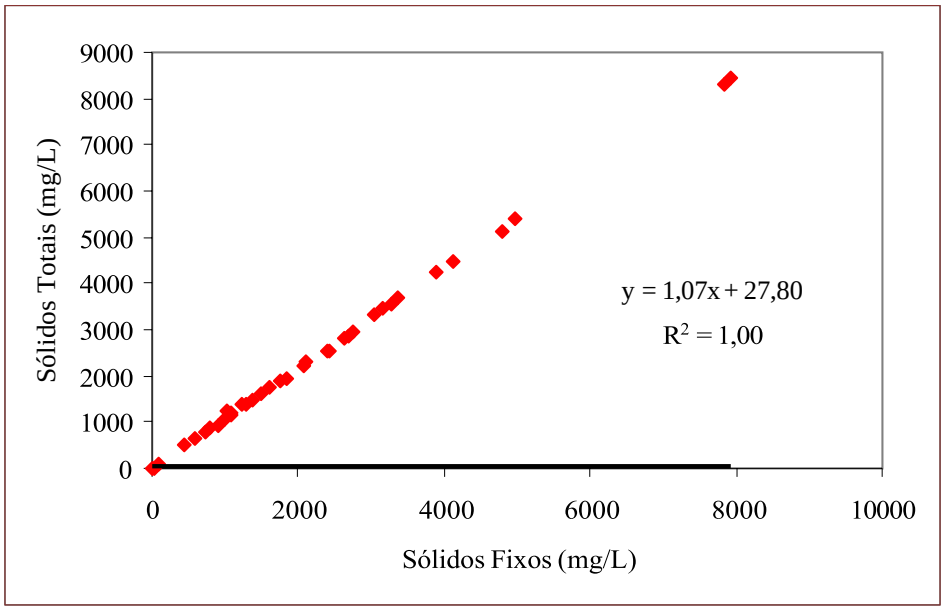
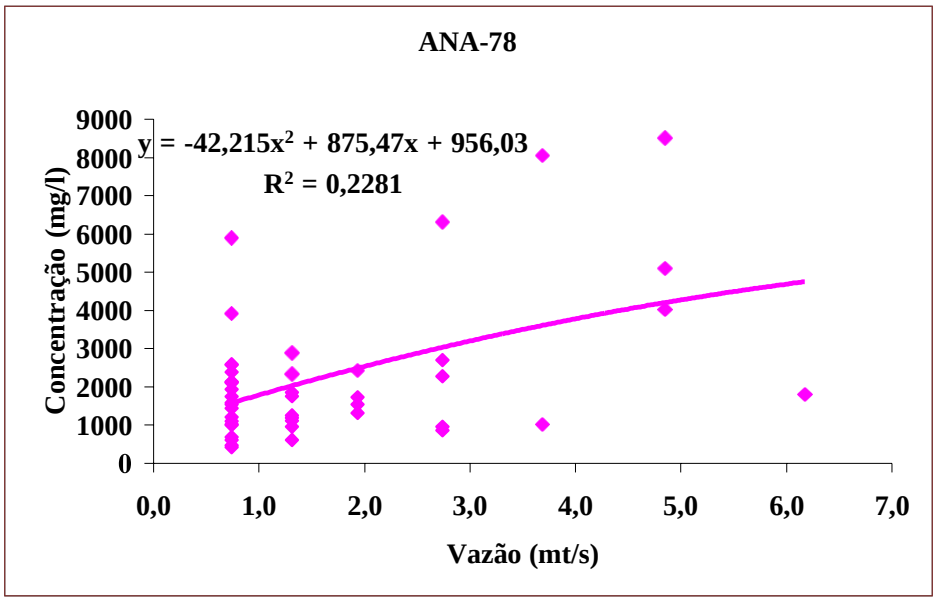


Figura 22. Relação entre concentração de sedimentos (mg/L) e vazão (m^3/s) obtida com o amostrados ANA -78



As figuras 23 a 26 apresentam gráficos durante eventos de chuva, relacionando a vazão e a concentração de sedimentos no tempo. Pode-se constatar um comportamento semelhante, que também é o caso dos outros eventos não apresentados. A concentração de sedimentos no início da cheia é bastante elevada, apresentando um pico, que possivelmente corresponde à carga de lavagem das ruas, verificando-se a seguir uma

redução do valor da concentração de sedimentos, comparativamente com o acréscimo da vazão. Estas constatações podem influenciar na dificuldade de construção de curva-chave de sedimentos, uma vez que a carga inicial depende das condições de chuva antecedente, intensidade da chuva e carga disponível para transporte, fatores estes que apresentam grande variação nos diversos eventos.

Figura 23: Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 18/09/2000.

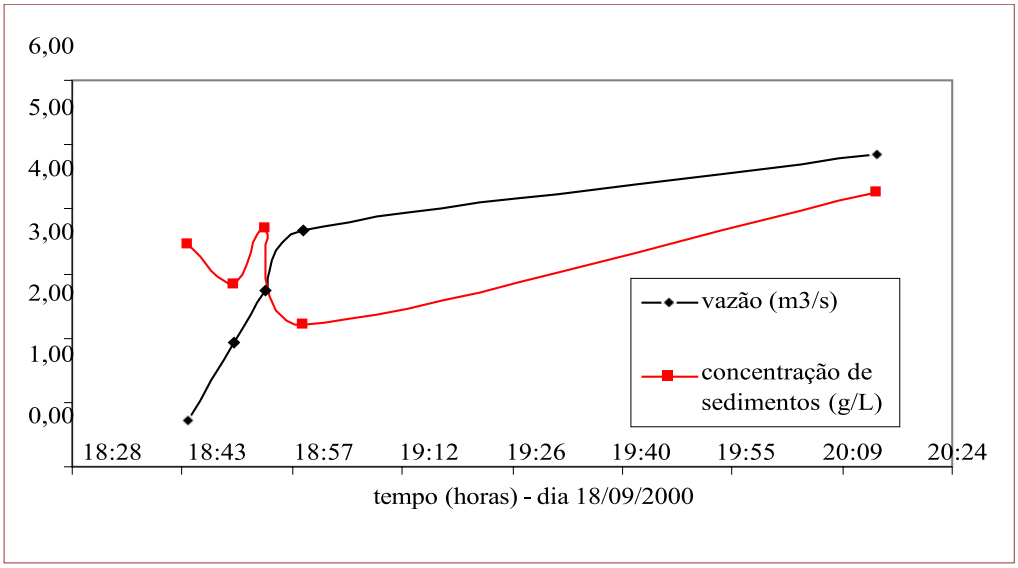


Figura 24: Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m^3/s), no evento do dia 7/01/2001.

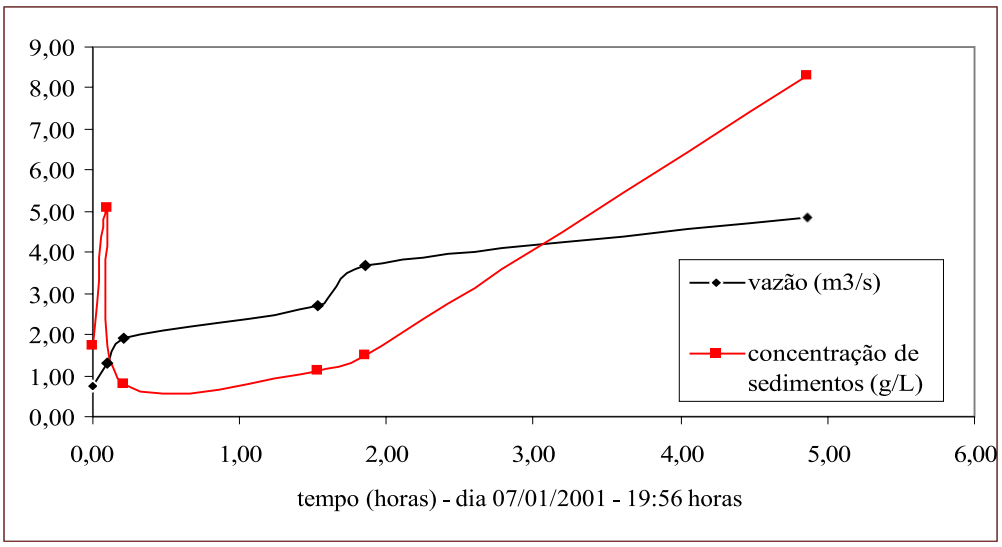


Figura 25: Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 12/02/2001.

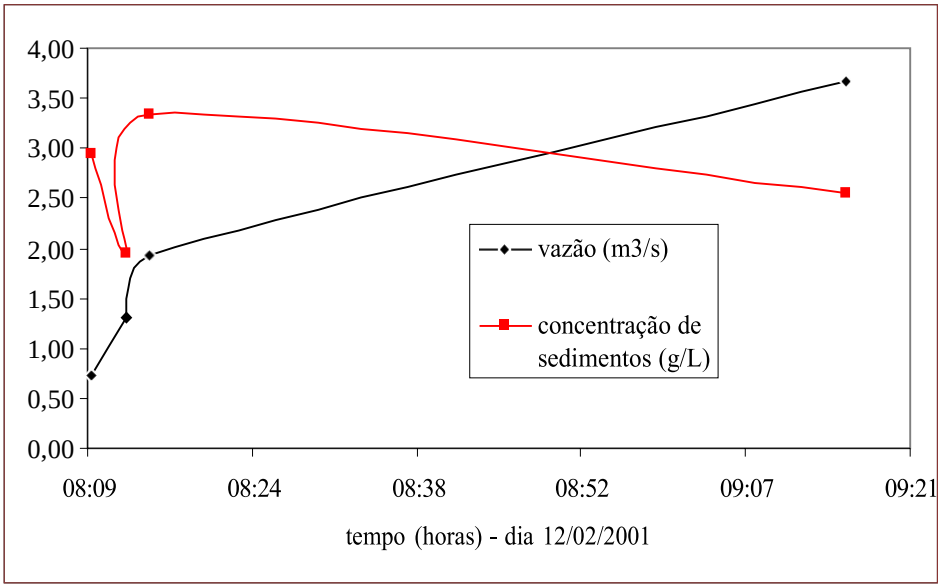
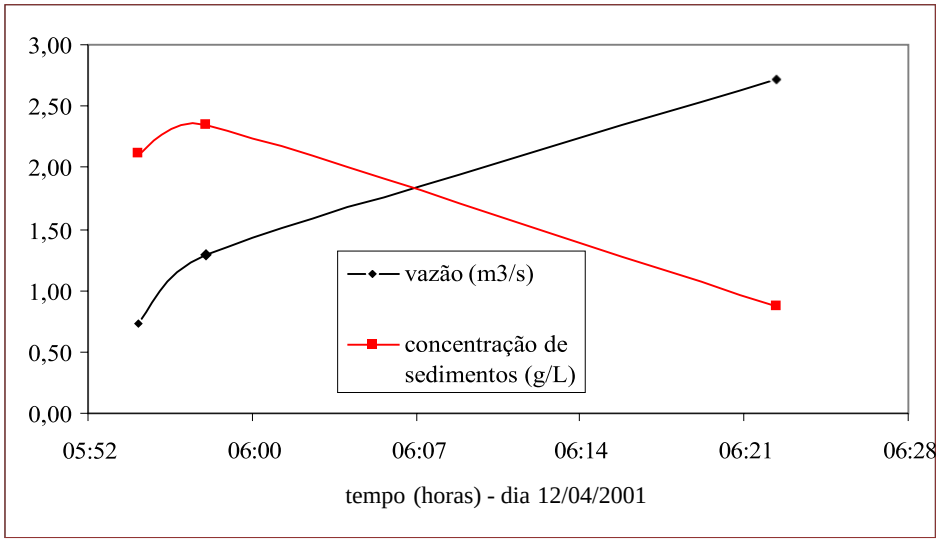


Figura 26: Gráfico da concentração de sedimentos (g/L) e vazão (m3/s), no evento do dia 12/04/2001.



A utilização de amostrador automático de nível ascendente apresentou algumas dificuldades operacionais na seção em estudo. Tais dificuldades estão relacionadas à utilização em bacia urbana, onde são lançadas grandes quantidades de detritos, que interferem no enchimento das garrafas de amostragem. Desta forma, ocorreram eventos em que alguma garrafa de amostragem intermediária não conseguiu coletar água devido a detritos retidos pelo próprio aparelho.

4.5.1.2. RESULTADOS OBTIDOS COM AMOSTRADOR – US-DH-48 - A M S -1

Os valores observados de concentração de sedimentos (sólidos totais) apresentaram média de 865 mg/L, valor máximo observado de 3678 mg/L e valor mínimo observado de 11 mg/L.

Os resultados de concentração de sedimentos na seção transversal, obtidos com amostrador AMS-1, em períodos de vazões sem escoamento superficial, mostraram que a concentração no centro é muito superior do que à concentração nas verticais próximas às margens. No entanto, com o crescimento das vazões, a concentração apresentou valores aproximadamente homogêneos nas verticais analisadas. Foi difícil comparar os resultados do amostrador automático com o amostrador manual devido à dificuldade de coleta simultânea. Desta forma, os resultados são comparados em conjunto.

As figuras 27, 28 e 29 apresentam gráficos da concentração de sedimentos em função da vazão para eventos de cheia, obtida com amostragem manual e integrada na seção transversal. Pode-se observar boa concordância entre vazão e concentração nas figuras 27 e 28. No gráfico da figura 29 observa-se um pico de concentração no início do evento, mesmo efeito observado com o amostrador automático. No início do evento chuvoso ocorre um pico de concentração devido à carga de lavagem, a partir do qual a concentração segue mantendo correlação direta com a vazão. Foi constado que o valor do pico de concentração é variável, provavelmente com o estado de umidade antecedente, e ocorre em um período de tempo bastante curto. No caso do gráfico da figura 29, o intervalo de tempo foi de 3 minutos e a concentração de sedimentos duplicou. Embora este valor seja importante não deve ter grande representatividade na avaliação da produção de sedimentos.

A figura 30 apresenta a relação entre a curva-chave de sedimentos, obtida em eventos de cheia com o amostrador manual AMS-1. Observa-se uma boa correlação entre estes valores, apesar de se ter incluído os picos da carga de lavagem. A figura 31 apresenta os pontos coletados de concentração e vazão com amostrador automático em conjunto com a curva de sedimentos ajustada com o amostrador manual. Pode-se observar que os dados do amostrador automático (figura 22) não apresentaram boa correlação com a vazão e seus valores são bastante superiores aos ajustados com o amostrador manual AMS-1. Nesta estação fluviométrica a concentração de sedimentos apresentou pequena variação nas verticais. No entanto, o amostrador manual integra na vertical, enquanto o

amostrador automático coleta água no nível máximo, razão pela qual as respostas são diferentes.

Figura 27: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m3/s) para o evento do dia 30/09/2001.

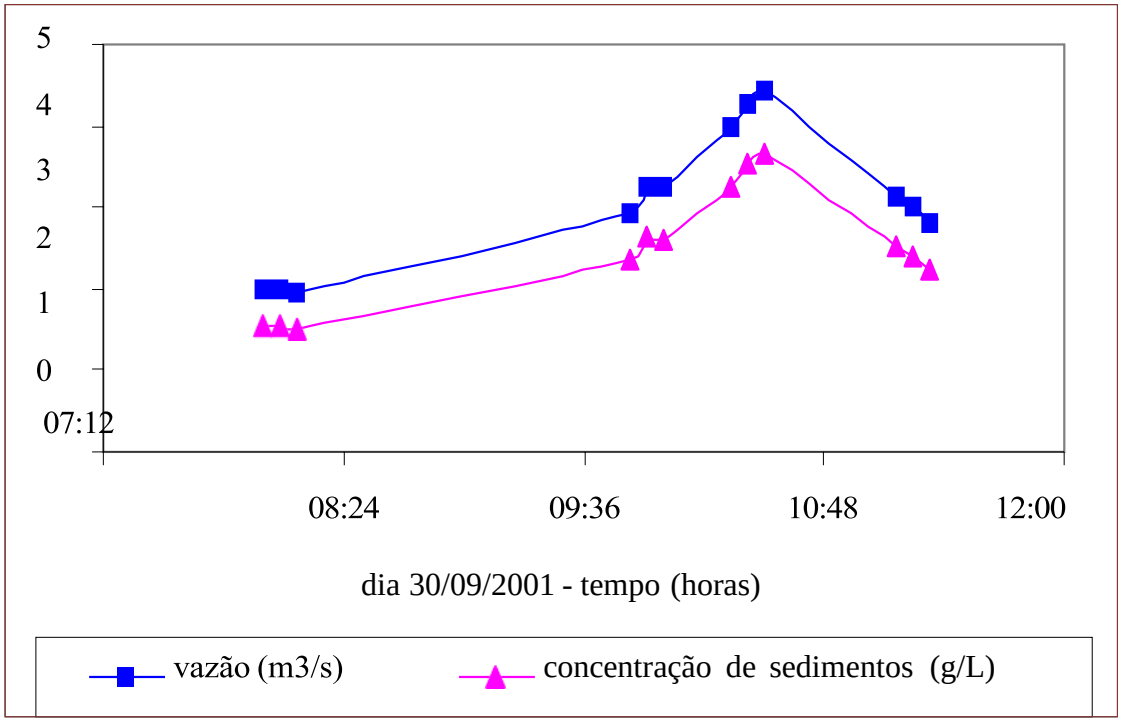


Figura 28: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m^3/s) para o evento do dia 07/11/2001.

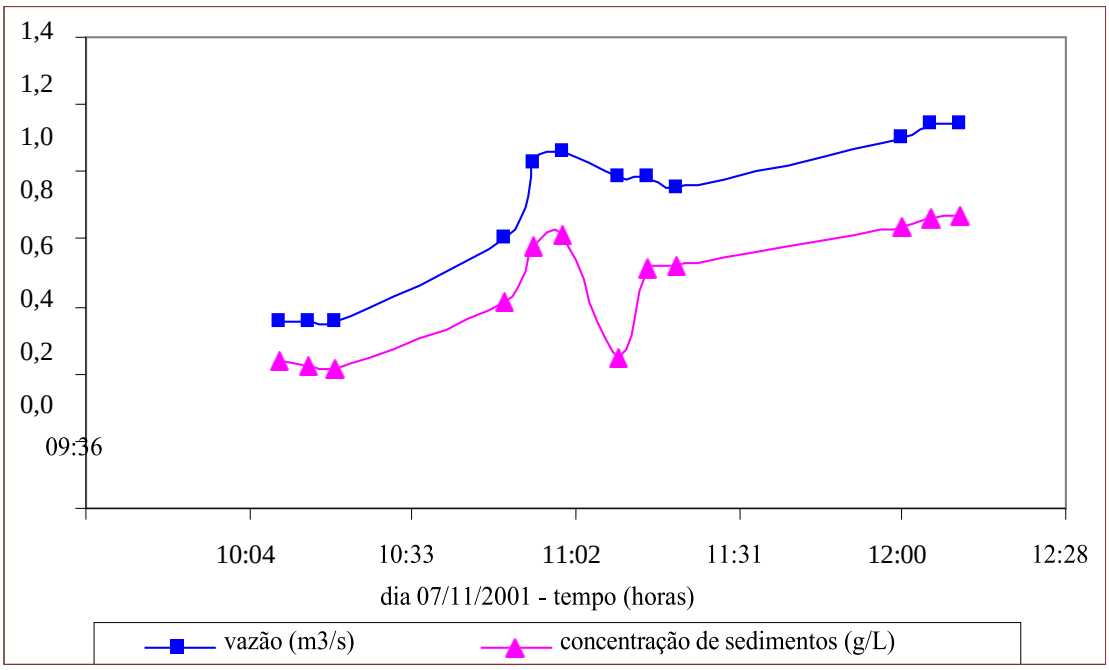


Figura 29: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (g/L) e a vazão (m^3/s) para o evento do dia 11/03/2002.

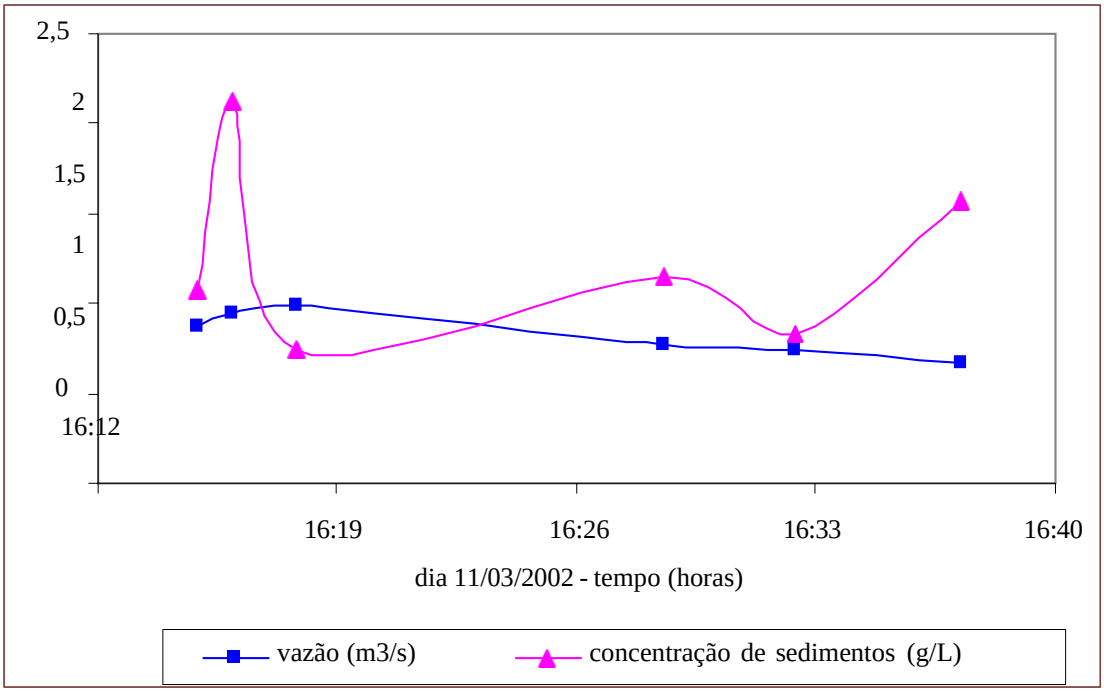


Figura 30: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão.

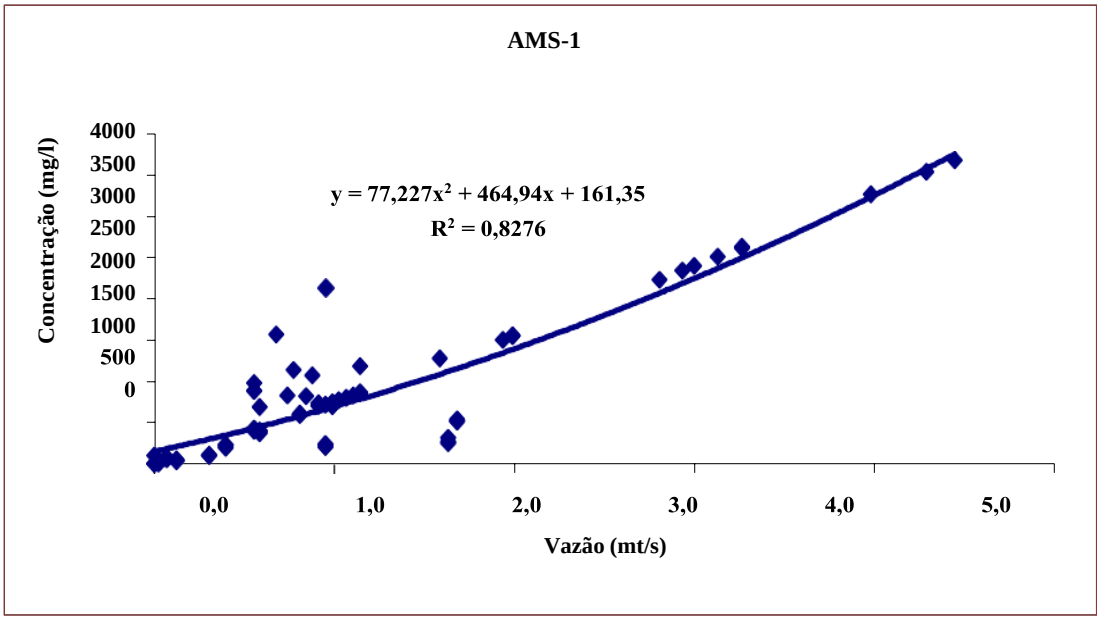
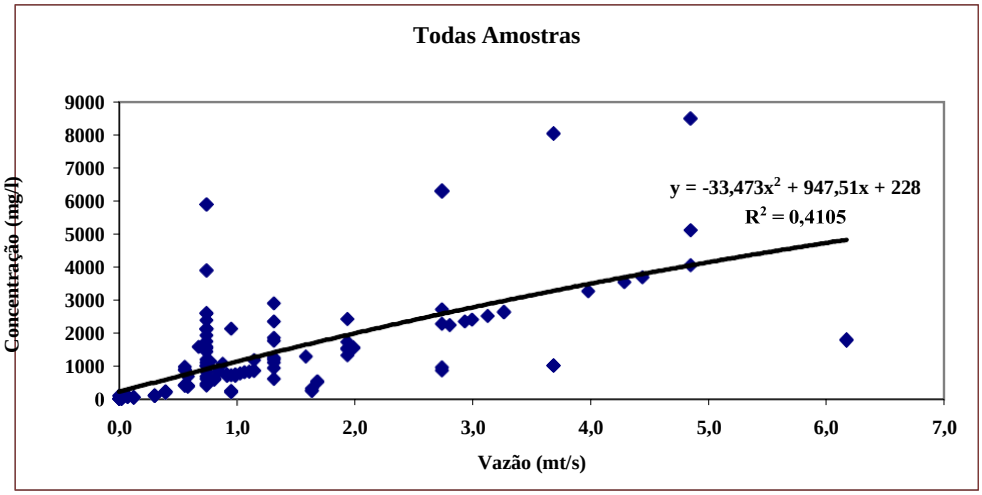


Figura 31: Relação entre concentração de sedimentos e vazão com amostrador automático e manual.



4.6. CURVA CHAVE DE CONCENTRAÇÃO

Com os dados coletados com o amostrador US-DH-48 – A M S – 1 obteve-se a concentração média com a respectiva cota, conforme mostra a tabela 07 e posteriormente traçado o gráfico com a relação entre a cota e a concentração de sedimentos (figura 32) assim estabelecendo a curva chave de concentração.

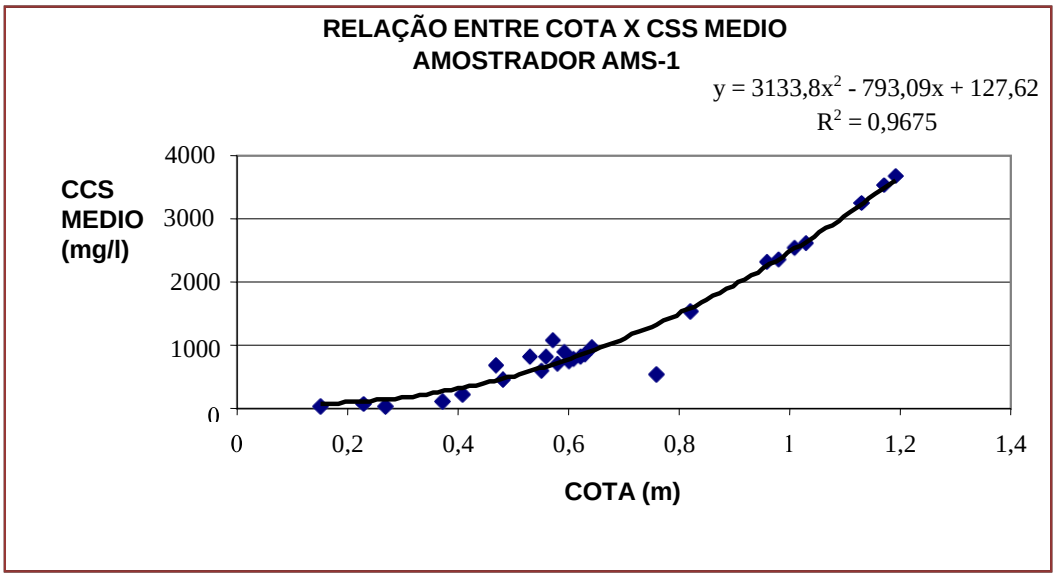
Tabela 07: Cota x concentração média de sedimentos

Cota	Concentração (mg/L)
0,15	49
0,23	76
0,27	53
0,37	114
0,41	228
0,47	673
0,47	472
0,53	835
0,55	609
0,56	829
0,57	1081
0,58	726
0,59	889

Tabela 07: Cota x concentração média de sedimentos(continuação)

Cota	Concentração (mg/L)
0,60	735
0,61	779
0,62	809
0,63	840
0,64	973
0,76	534
0,82	1539
0,96	2316
0,98	2343
1,01	2543
1,03	3262
1,13	3262
1,17	3536
1,19	3678

Figura 32: Gráfico da relação entre Cota e concentração média de sedimentos



Comparando-se a correlação entre a concentração e a vazão, e a correlação entre a cota e Css médio, está última teve uma correlação melhor (R2=0,9675), pois foi estabelecida com a média da concentração em cada cota respectiva.

4.7. DETERMINAÇÃO DA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO

Com os valores de concentração obtidos a partir da curva chave de concentração foi obtida concentração em relação a cota desejada. Após a obtenção da concentração, calculou-se a vazão líquida para a mesma cota da concentração a partir da equação da curva chave de vazão.

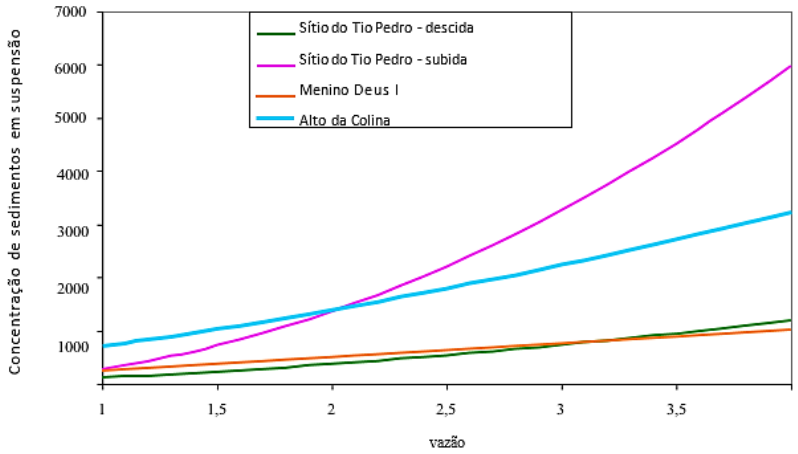
Conforme a equação 08 (página 38) com os valores de concentração e de vazão determinou-se a descarga sólida em suspensão.

4.8. COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTOS EM OUTRAS BACIAS DAREGIÃO

A figura 33 apresenta comparação entre a curva-chave de sedimento obtida na bacia Alto da Colina, e as curvas-chave obtidas em pequena bacia hidrográficaem urbanização de encosta, bacia hidrográfica Sítio do Tio Pedro, Belinaso e Paiva (2002), e a curva-chave obtida em bacia hidrográfica rural de encosta, bacia Menino Deus I, Branco(1998) ambas na mesma região. Belinaso e Paiva (2002) apresentaram duas curvas-chave, uma para subida e outra para a descida da ondade cheia, obtida com amostrador manual AMS-1.

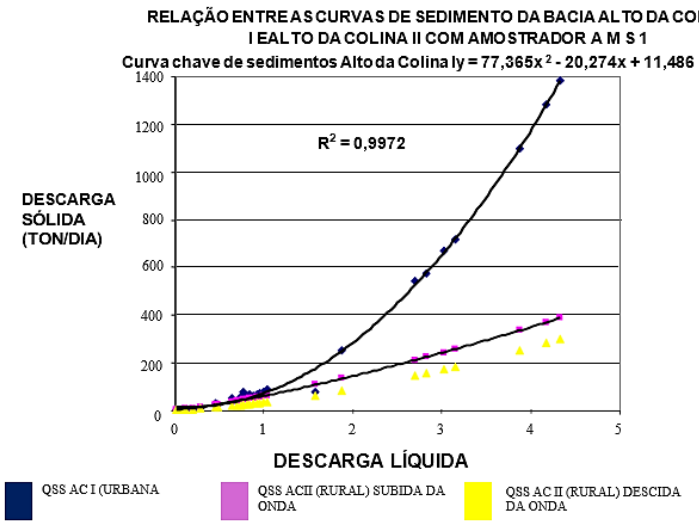
A bacia Sítio do Tio Pedro tem características físicas semelhantes à baciaAlto da Colina, área de 0,53 km^2, porém apresenta grande declividade, 26,8%, valor bastante superior ao da bacia apresentada neste trabalho que possui declividade de 4,98%. Pode-se constatar uma declividade menor na curva de ajuste do Alto da Colina, que pode ser explicado pela menor declividade da bacia, já que tendo uma declividade menor os sedimentos desenvolvem uma velocidade menor de escoamento e, por conseguinte não chegam ao corpo receptor, pois não vencem o atrito do solo. Também se verifica uma significativa modificação das curvas de subida e descida da cheia, que pode ser explicado pela adição da cargade lavagem que deve ocorrer no início do evento. Este efeito não foi comentado por Belinaso e Paiva (2002), provavelmente pela dificuldade de observação, uma vezque as respostas desta bacia são extremamente rápidas. A bacia hidrográfica Menino Deus I possui área bastante superior, 18 km^2, declividade média de 22,6%, com vegetação predominante de mata nativa e plantada. Neste caso, observa-se valores de concentração de sedimentos bastante inferiores às duas bacias em urbanização e semelhante ao comportamento da curva de descida da bacia Sítiodo Tio Pedro.

Figura 33. Comparação entre curvas-chave de sedimentos de pequenas bacias



Também foi feita a comparação entre a bacia Alta da Colina I (urbana) e a bacia Alta da Colina II (rural) conforme curva chave de sedimentos de Carvalho 2003 como mostra a figura 34.

Figura 34: Comparação entre as curva de sedimento entre a bacia Alto da Colina I (urbana) e a bacia Alto da Colina II (rural)



Nota-se que a bacia urbana apresenta uma descarga sólida maior que nabacia rural, corroborando o que diz a literatura que na fase de urbanização existeuma produção maior de sedimentos que na área rural.

Cabe salientar que a bacia Alto da Colina I engloba a bacia Alto da Colina II, tendo como diferença entre elas que a bacia Alto da Colina I agrega a parte urbanado loteamento Alto da Colina.

4.9. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BACIA ALTO DA COLINA I (URBANA) E ALTO DACOLINA II (RURAL)

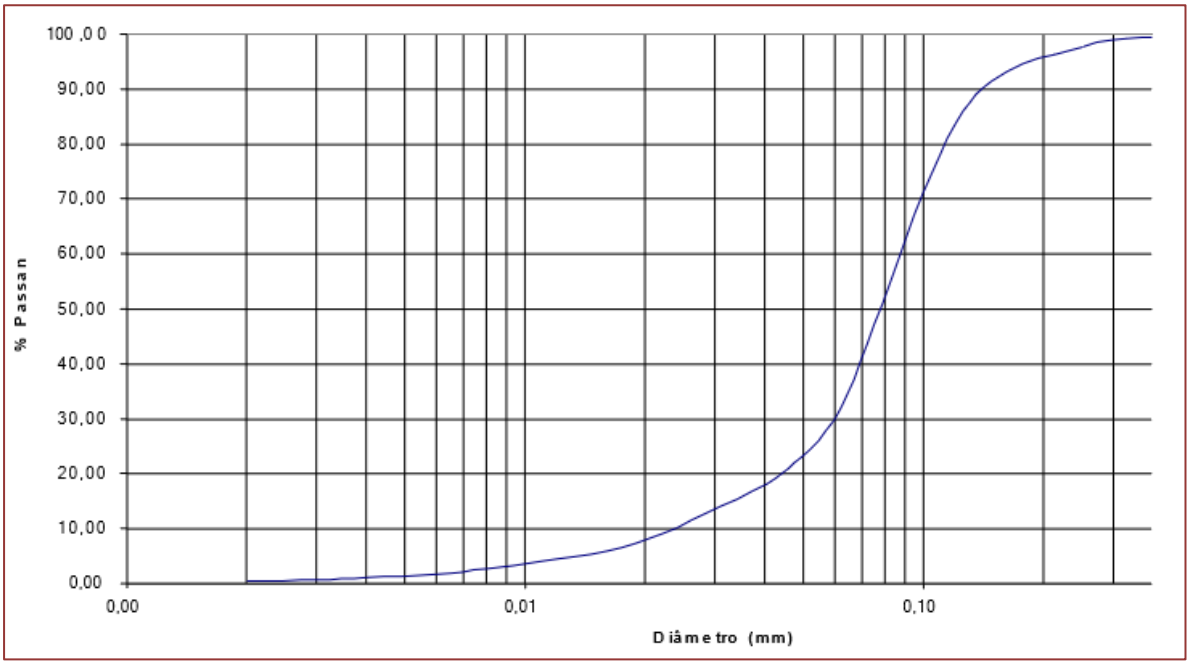
Foram realizadas análises granulométricas dos sedimentos transportados em suspensão pelo método do tubo de retirada pelo fundo, descrito por Carvalho, 1994.

Com o resultado da análise granulométrica na Bacia Alto da Colina I (urbana) identificou-se a seguinte composição granulométrica:

Areia grossa – 0,11% Areia média – 0,34% Areia fina – 13,46% Areia muito fina – 53,77%	Total de areia: 67,68%
Silte – 31,77% Argila – 0,55%	

A seguir apresenta-se a curva granulométrica do material em suspensão:

Figura 35: curva granulométrica do material em suspensão da bacia Alto da Colina I (urbana)



A composição granulométrica da Bacia Alto da Colina II (rural) conforme Carvalho (2003) mostra a seguinte estratificação:

Areia – 47,5%

Silte – 52%

Argila – 1,5%

Percebe-se que apesar do solo das duas bacias serem os mesmos, ou seja, Podzólico Bruno Acinzentado Álico que apresenta 11% de argila, 43% de silte e 46% de areia no horizonte superficial, a análise mostrou que a bacia Alto da Colina I (urbana) apresentou uma composição de areia de 47% maior que o esperado para o tipo de solo da bacia e 42% superior em relação a Bacia Alto da Colina II (rural), mostrando que é muito provável que este elevado teor de areia tenha sido oriundo de construções que ocorrem na bacia Alto da Colina I.

4.10. TURBIDEZ X CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO

Em relação ao comportamento da turbidez em comparação com sedimentos em suspensão dividiu-se a análise com base no tipo de amostrador utilizado e no tipo de turbidímetro utilizado.

4.10.1. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE MISTURA ÁGUA-SEDIMENTO COM AMOSTRADOR ANA E TURBIDEZ MEDIDA COM TURBIDÍMETRO SL2K

A seguir apresenta-se os resultados obtidos durante o monitoramento da bacia hidrográfica Alto da Colina, durante os eventos de chuva com amostrador Ana e a leitura da turbidez com turbidímetro SL2K.

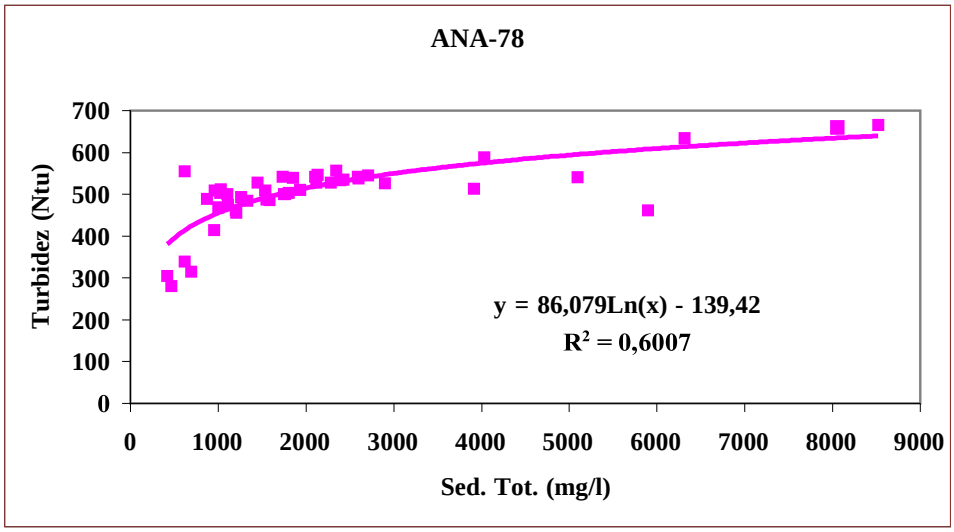
A tabela 08 apresenta os valores da concentração de sólidos totais em mg/L e os respectivos valores de turbidez em NTU.

Tabela 08: Valores de concentração de sedimento obtidos com o Ana x turbidez medida com o SL2K

Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)	Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)	Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)
2306,00	225,00	469,00	280,00	1201,00	460,78
865,00	215,00	692,00	315,00	1546,00	487,21
1385,00	307,00	2132,00	546,00	2280,00	527,88
666,00	195,00	1003,00	468,00	4028,00	587,45
2878,00	56,00	5896,00	477,00	1538,00	508,47
5422,00	27,00	2588,00	535,00	1206,00	455,12
8455,00	170,00	1101,00	500,00	1749,00	500,12
3536,00	150,00	1027,00	513,00	2897,00	526,43
2545,00	180,00	1261,00	494,00	953,00	414,45
4471,00	170,00	963,00	509,00	1583,00	486,39
1059,00	64,00	1018,00	503,00	1112,00	474,11
923,00	135,00	5093,00	541,00	1329,00	484,13
1184,00	95,00	1932,00	551,00	1443,00	527,50
506,00	20,00	1761,00	546,00	1854,00	539,23
1737,00	150,00	6624,00	556,00	1736,00	541,31
5101,00	95,00	9316,00	549,00	2708,00	545,38
807,00	125,00	29057,00	255,00	1593,00	378,82
1142,00	170,00	28518,00	235,00	1475,00	504,06
1476,00	175,00	1803,00	553,00	653,00	473,88
8315,00	55,00	64,00	111,00	789,00	446,94
1240,00	105,00	83,00	117,00	815,00	487,07
2935,00	18,00	82,00	120,00	444,00	528,58
1953,00	28,00	985,00	482,00	15596,00	555,06
3335,00	41,00	894,00	473,00	9818,00	555,60
2550,00	19,00	891,00	461,00	800,00	519,13
1384,00	55,00	3917,00	513,79	797,00	476,88
2121,00	527,00	2598,00	537,35	4865,00	533,90
2346,00	556,00	421,00	304,93	1085,00	492,09
870,00	489,00	618,00	338,99	14441,00	548,07
615,00	555,00	2390,00	532,81		

A partir dos dados da tabela acima foi construído um gráfico mostrando a relação entre a concentração e a turbidez conforme ilustra a figura 36.

Figura 36: Gráfico com as amostras coletadas a partir do amostrador ANA 78 e turbidímetro SL2K.



A figura 36 mostra o gráfico que foi plotado a partir de 89 pares de valores de concentração obtidos com o amostrador ANA 78 e turbidez medida com o turbidímetro SL2K. Os valores de concentração ficaram entre 82 mg/L e 29057 mg/L e turbidez entre 18 a 587,45 NTU.

4.10.2. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE MISTURA ÁGUA-SEDIMENTO COM AMOSTRADOR US-DH-48 TURBIDEZ MEDIDA COM TURBIDÍMETRO SL2K

A seguir apresenta-se os resultados obtidos durante o monitoramento da bacia hidrográfica Alto da Colina, durante os eventos de chuva com amostrador US-DH-48 (AMS1) e a leitura da turbidez com turbidímetro SL2K.

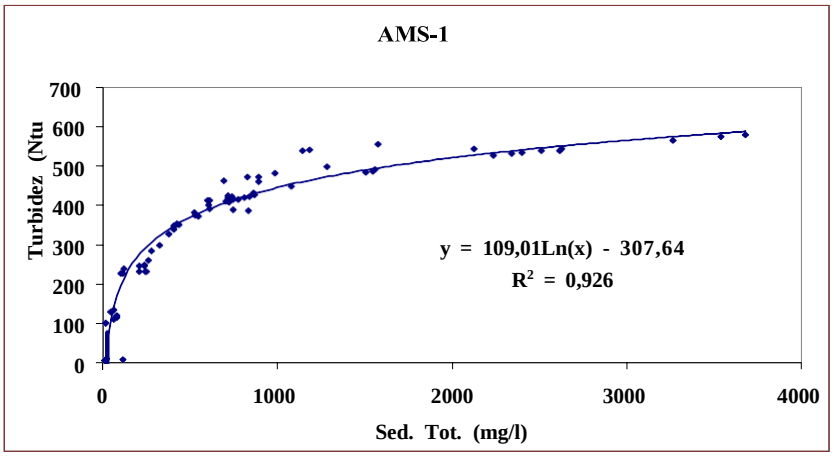
A tabela 09 apresenta os valores da concentração de sólidos totais em mg/L e os respectivos valores de turbidez em NTU.

Tabela 09: Valores de concentração de sedimento obtidos com o A M S - 1 x turbidez medida com o SL2K

Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)	Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)	Concentração de Sed. Totais(mg/L)	Turbidez(NTU)
11,00	8,00	237,00	245,80	719,00	423,98
115,00	10,00	377,00	328,45	1574,00	555,63
22,00	13,00	407,00	338,40	835,00	386,65
347,00	288,00	411,00	349,85	1142,00	539,35
694,00	463,00	1549,27	487,43	1081,00	447,47
829,00	473,00	1562,00	491,05	2128,00	544,04
1187,00	493,00	1505,76	484,45	746,00	390,15
1286,00	499,00	2343,49	530,75	510,00	399,15
16,00	77,00	2630,51	542,85	239,00	280,27
17,00	73,00	2614,00	539,57	546,00	382,70
50,00	131,00	3261,91	565,37	251,00	276,26
46,00	130,00	3536,29	573,82	198,00	179,47
65,00	136,00	3678,23	577,94	259,00	265,90
122,00	238,00	2513,43	538,08	123,00	192,24
114,00	214,00	2399,39	533,22	404,00	373,64
107,00	203,00	2233,94	525,74		
263,00	260,00	436,00	352,16		
280,00	283,00	425,51	354,62		
328,00	298,00	412,00	348,94		
250,00	233,00	612,93	390,36		
244,00	232,00	779,49	415,53		
212,00	233,00	809,49	419,48		
64,00	111,38	750,15	414,88		
83,00	116,89	709,00	411,51		
82,00	120,05	721,44	407,42		
985,00	482,12	840,12	423,37		
894,00	472,79	862,00	430,71		
891,00	461,08	871,41	427,20		
532,00	375,97	614,00	412,06		
547,00	371,46	601,00	412,54		
524,00	382,16	607,00	401,48		
238,00	249,52	716,00	420,89		
208,00	247,69	744,00	421,36		

A partir dos dados da Tabela 9 foi construído um gráfico mostrado a relação entre a concentração e a turbidez com a respectiva equação de e sua correlação conforme mostra a figura 37.

Figura 37: Gráfico com as amostras coletadas a partir do amostrador US-DH-48 (AMS1) e turbidímetro SL2K.



A figura 37 mostra o gráfico que foi plotado a partir de 81 pares de valores de concentração obtidos com o amostrador US-DH-48 e turbidez medida com o turbidímetro SL2K. Os valores de concentração ficaram entre 11 mg/L e 3536,29 mg/L e turbidez entre 8 a 577,94 NTU, apresentando uma melhor correlação que o amostrador ANA-78.

4.10.3. ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE MISTURA ÁGUA-SEDIMENTO COM AMOSTRADOR US-DH-48 E TURBIDEZ MEDIDA COM A MINI-SONDA HYDROLAB 4A

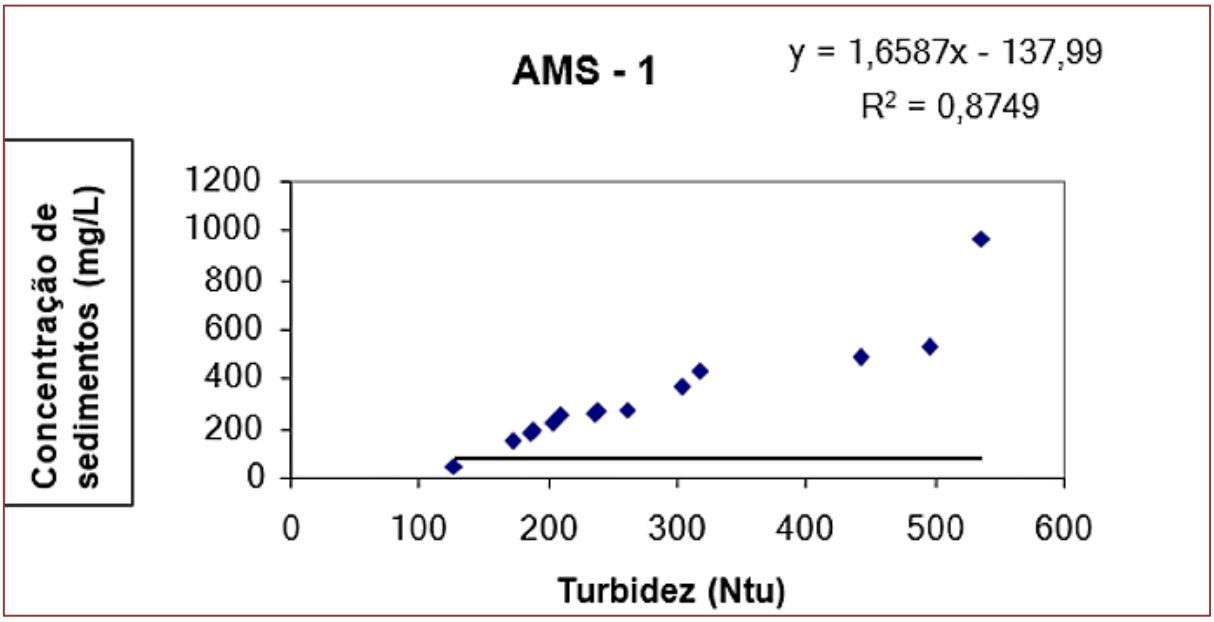
A seguir apresenta-se os resultados obtidos durante o monitoramento da bacia hidrográfica Alto da Colina, durante os eventos de chuva com amostrador US-DH-48 (AMS1) e a leitura da turbidez com a mini-sonda Hydrolab 4 A que fornece o valor da turbidez em tempo real.

A tabela 10 apresenta os valores da concentração de sólidos totais em mg/L e os respectivos valores de turbidez em NTU.

Tabela 10: Valores de concentração de sedimento obtidos com o A M S - 1 x turbidez obtida com a mini-sonda Hydrolab 4 A

Concentração de Sed. Totais (mg/L)	Turbidez (NTU)
38	126,71
147	173,17
180	187,4
183	188
190	188
222	204
251	210,83
256	237
269	239
270	263
358	304,52
420	318,28
490	444
526	496
959	537

Figura 38: Gráfico com as amostras coletadas a partir do amostrador US-DH-48 (AMS1) e turbidez obtida com a mini-sonda Hydrolab 4 A.



A figura 38 mostra o gráfico que foi plotado a partir de 15 pares de valores de concentração obtidos com o amostrador US-DH-48 e turbidez medida com a mini-sonda Hydrolab. SL2K. Os valores de concentração ficaram entre 38 mg/L e 959 mg/L e turbidez entre 126,71 a 537NTU.

Explica-se o reduzido número de valores (15), pois no decorrer da pesquisa a mini-sonda Hydrolab apresentou problemas técnicos e não pode ser mais utilizada.

Com os dados de turbidez e concentração de sedimentos mostrados acima podemos resumir assim as curvas de correlação:

Tabela 11 : Equações de ajuste entre a turbidez e a concentração de sedimentos divida pelo tipo de amostrador

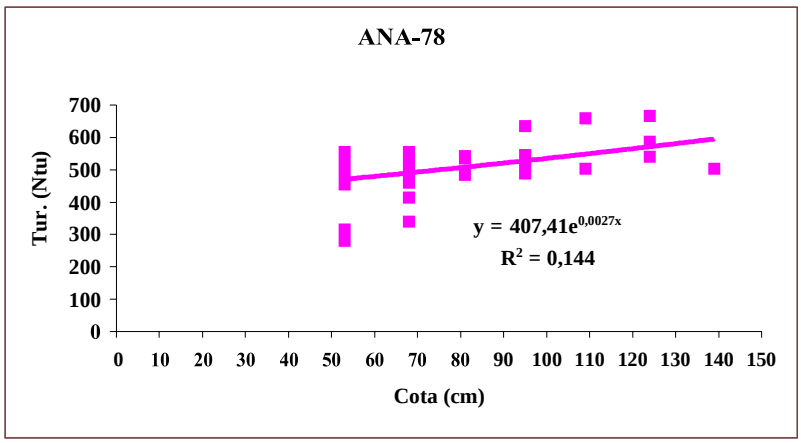
Tipo de amostrador e turbidímetro	Equação de ajuste	R^2
Amostrador ANA e turbidímetro SL2K	Y = 86,079Ln (x) – 139,42	0,6007
Amostrador A M S – 1 e turbidímetro SL2K	Y = 109,011 Ln (x) -307,64	0,9260
Amostrador A M S – 1 e turbidímetro da mini-sonda Hydrolab 4 A	Y = 1,6587 X – 137,99	0,8749

De posse dos dados coletados foi possível estabelecer a correlação entre a cota e a turbidez, classificada pelo tipo de amostrador, para posteriormente aplicar nas equações da tabela 11.

4.10.4. CORRELAÇÃO ENTRE COTA E TURBIDEZ A PARTIR DO AMOSTRADOR ANA

O gráfico abaixo mostra a correlação entre a cota e a turbidez das amostras coletadas com amostrador ANA no período estudado.

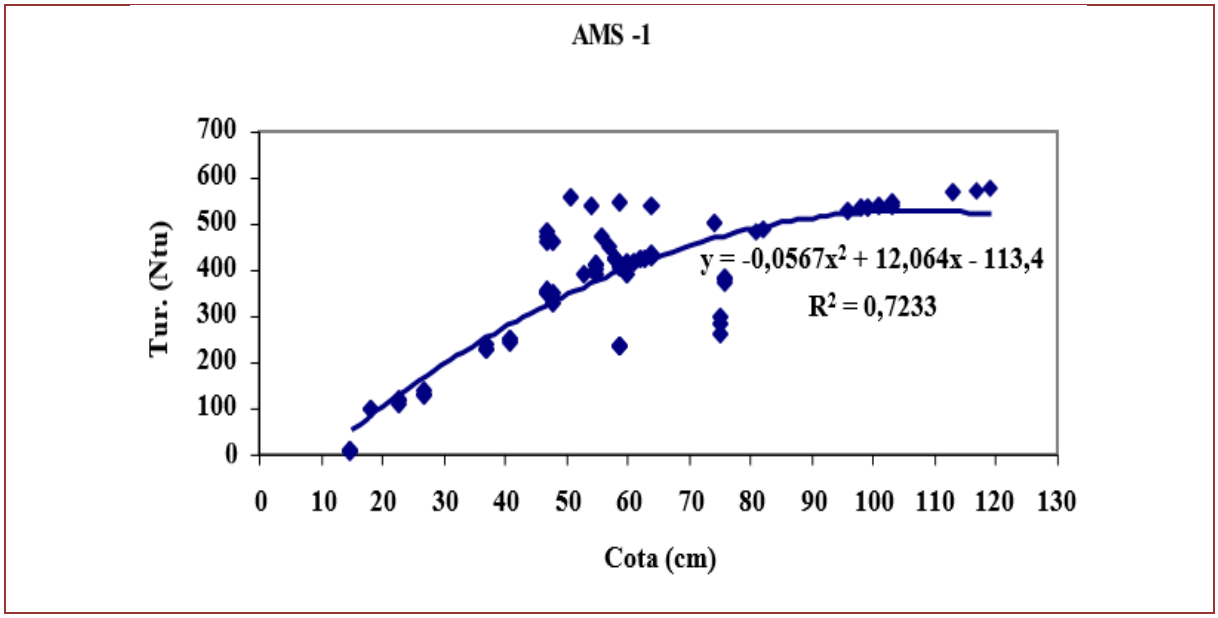
Figura 39: Gráfico de correlação entre a cota e a turbidez das amostras coletadas com amostrador ANA.



4.10.5. CORRELAÇÃO ENTRE COTA E TURBIDEZ A PARTIR DO AMOSTRADOR A M S - 1

O gráfico abaixo mostra a correlação entre a cota e a turbidez das amostras coletadas com amostrador A M S - 1 no período estudado.

Figura 40: Gráfico de correlação entre a cota e a turbidez das amostras coletadas com amostrador A M S - 1.



Como pode ser observado na tabela 12 a correlação entre a cota e a turbidez para as amostras coletas com os dois amostradores é a seguinte:

Tabela 12 : Equações de ajuste entre a cota e a turbidez, divida pelo tipo de amostrador

Tipo de amostrador	Equação de ajuste	R^2
ANA	$Y = 407{,}41\ e^{0{,}0027x}$	0,144
A M S – 1	$Y = -0{,}0567x^2 + 12{,}064x - 113{,}4$	0,7233

Percebe-se que existe um bom ajuste para as amostras coletadas com o amostrador A M S – 1 com um R2 igual a 0,7233, o mesmo não ocorrendo com o amostrador ANA que apresentou um R2 igual a 0,144.

4.11. VAZÃO X CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

Para a análise do comportamento da vazão em relação a concentração de sedimentos em suspensão, as análises foram divididas pelo o tipo de amostrador utilizado.

4.11.1. VAZÃO X CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO OBTIDA COM O AMOSTRADOR ANA

A correlação entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão para as análises obtidas com o amostrador ANA durante o período analisado comportou-se como mostra o gráfico da figura 22 apresentado na página 61.

4.11.2. VAZÃO X CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO OBTIDAS COM O AMOSTRADOR A M S – 1

A correlação entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão para as análises obtidas com o amostrador A M S - 1 durante o período analisado comportou-se como mostra o gráfico da figura 30.

Como pode ser observado na tabela 13 a correlação entre a vazão e a concentração de sedimentos nas amostras coletadas para os dois amostradores é a seguinte:

Tabela 13 : Equações de ajuste entre a vazão e a concentração de sedimentos divida pelo tipo de amostrador

Tipo de amostrador	Equação de ajuste	R^2
ANA	$Y = - 42,51x^2 + 875,47x + 956,03$	0,2281
A M S – 1	$Y = 77,227x^2 + 464,94x + 161,35$	0,8276

Percebe-se que existe um bom ajuste para as amostras coletadas com o amostrador A M S – 1 com um R2 igual a 0,8276, o mesmo não ocorrendo com o amostrador ANA que apresentou um R2 igual a 0,2281.

Com os dados de turbidez, vazão e cota estabeleceram-se uma relação entre estas três propriedades com a concentração medida como mostra a tabela 14.

Tabela 14: Dados de concentração em função da turbidez, da vazão e da cota

COTA	CONC F (TURBIDEZ)	CONC MEDIDA (MÉDIA)	CONC F (VAZÃO)	CONC F (COTA)
0,23	34	76	195	111
0,24	39		201	118
0,25	43		207	125
0,26	48		213	133
0,27	52	53	220	142
0,28	56	347	227	151
0,29	59		235	161
0,3	63		243	172
0,31	67		251	183
0,32	70		260	195
0,33	74		269	207
0,34	77		279	220
0,35	80		289	234
0,36	83		299	248
0,37	86	114	310	263
0,38	89		321	279
0,39	92		333	295
0,4	94		345	312
0,41	97		358	329
0,42	100		371	347
0,43	102		384	366
0,44	105		398	385
0,45	107		413	405

Tabela 14: Dados de concentração em função da turbidez, da vazão e da cota (continuação)

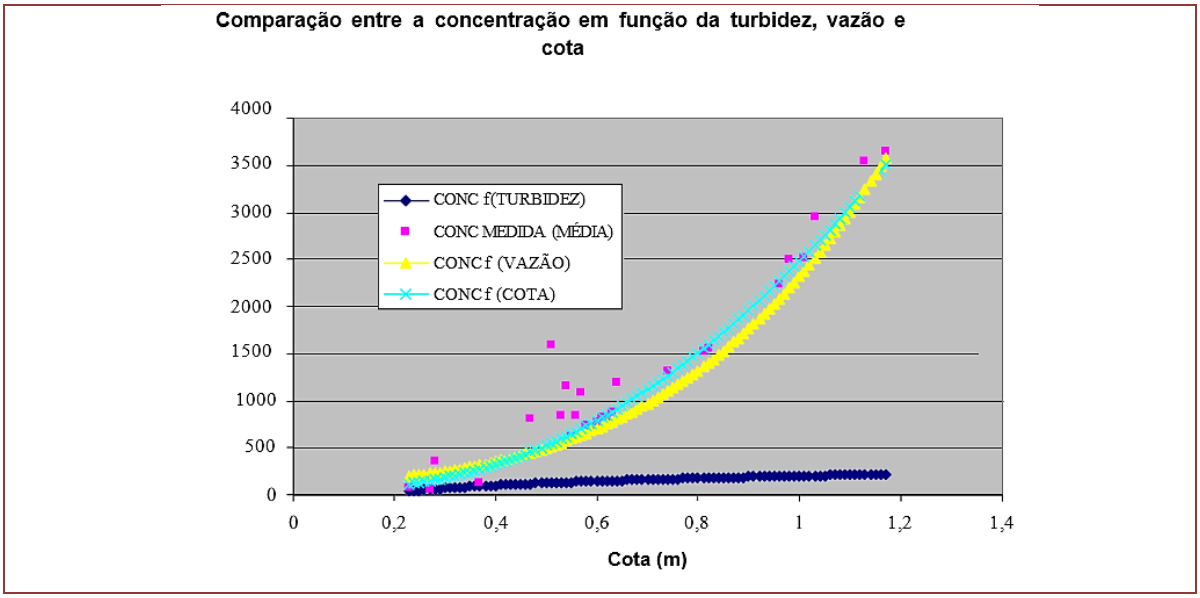
COTA	CONC f (TURBIDEZ)	CONC MEDIDA (MÉDIA)	CONC f (VAZÃO)	CONC f (COTA)
0,46	110		428	426
0,47	112	804	443	447
0,48	114		459	469
0,49	117		476	491
0,5	119		493	515
0,51	121	1574	510	538
0,52	123		529	563
0,53	125	835	547	588
0,54	127	1142	567	613
0,55	129	615	587	639
0,56	131	829	607	666
0,57	133	1081	628	694
0,58	135	726	650	722
0,59	137	714	672	751
0,6	139	769	695	780
0,61	140	810	719	810
0,62	142	809	743	841
0,63	144	872	768	872
0,64	146	1187	794	904
0,65	147		820	936
0,66	149		847	969
0,67	151		875	1003
0,68	152		904	1037
0,69	154		933	1072
0,7	155		963	1108
0,71	157		994	1144
0,72	159		1026	1181
0,73	160		1059	1219
0,74	162	1296	1092	1257
0,75	163		1126	1296
0,76	164		1161	1335
0,77	166		1197	1375
0,78	167		1234	1416
0,79	169		1272	1457
0,8	170		1311	1499
0,81	171	1506	1350	1541
0,82	173	1555	1391	1584
0,83	174		1433	1628
0,84	175		1475	1673
0,85	177		1519	1718
0,86	178		1564	1763
0,87	179		1609	1810

Tabela 14: Dados de concentração em função da turbidez, da vazão e da cota (continuação)

COTA	CONC f (TURBIDEZ)	CONC MEDIDA (MÉDIA)	CONC f (VAZÃO)	CONC f (COTA)
0,88	180		1656	1857
0,89	182		1704	1904
0,9	183		1753	1952
0,91	184		1803	2001
0,92	185		1855	2050
0,93	186		1907	2100
0,94	188		1961	2151
0,95	189		2015	2202
0,96	190	2234	2072	2254
0,97	191		2129	2307
0,98	192	2487	2188	2360
0,99	193		2247	2414
1,00	194		2309	2468
1,01	195	2513	2371	2523
1,02	197		2435	2579
1,03	198	2938	2500	2635
1,04	199		2567	2692
1,05	200		2635	2750
1,06	201		2705	2808
1,07	202		2776	2867
1,08	203		2848	2926
1,09	204		2922	2986
1,1	205		2998	3047
1,11	206		3075	3108
1,12	207		3153	3170
1,13	208	3536	3234	3233
1,14	209		3316	3296
1,15	210		3399	3360
1,16	211		3484	3424
1,17	211	3638	3571	3490

A partir da tabela 14, plotou-se um gráfico (figura 41) onde é possível visualizar a correlação entre a concentração em função da turbidez, vazão e cota e também comparando-se com a concentração medida na estação fluviométrica Alto da Colina I.

Figura 41: Gráfico da concentração em função da turbidez, vazão, cota e concentração medida na Estação Alto da Colina I



Pelo gráfico da figura 41 e na tabela 14, percebe-se que a turbidez não apresentou uma boa aproximação em relação a concentração medida na estação, ao passo que a relação entre a vazão e a cota tiveram uma boa aproximação, razão pela qual foram utilizadas para a determinação da produção de sedimentos na bacia Alto da Colina I.

4.12. EVENTOS ANALISADOS PARA A DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Durante o período estudado, para a determinação da produção de sedimento na bacia utilizou-se os seguintes eventos, pois foram os que apresentaram melhores dados representativos de concentração:

- Evento do dia 01/06/2001
- Evento do dia 25/06/2001
- Evento do dia 11/07/2001
- Evento dos dias 19 e 20/07/2001
- Evento do dia 30/09/2001
- Evento do dia 07/11/2001

- Evento do dia 31/01/2002
- Evento do dia 11/03/2002

Nestes eventos foram aplicados os métodos hidrológicos e a MUSLE para a determinação da produção de sedimentos na bacia. Como mostra o gráfico da figura 42, a relação entre concentração e turbidez ficou muito aquém do esperado em comparação com a concentração medida na estação Alto da Colina I , portanto não foi utilizada esta relação no presente trabalho, utilizando- se a relação entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão.

Destes eventos os que apresentaram maior volume de escoamento superficial foi o do dia 30/09/2001 com 103391,2 m 3 e o de maior vazão de pico foi o do dia 19/07/2001 com 12,51 m3/s, enquanto o evento do dia 11/03/2002 foi o que apresentou menor escoamento superficial e vazão de pico com 5967,1 m3 e 0,98 m3/s, respectivamente

Os hidrogramas, sedimentogramas e precipitações ocorridas nos eventos foram colocadas no Anexo 03.

4.13. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

4.13.1 . PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS CALCULADO CONFORME A MUSLE

Os procedimentos e cálculos para as estimativas dos parâmetros K, LS, C e P estão apresentados no Anexo 02.

Aplicou-se o modelo para os eventos analisados no item 4.10, através da equação 10 com a e b iguais a 89,6 e 0,56, respectivamente, sendo os resultados apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Resultados da produção de sedimentos dos eventos , calculados pela MUSLE

Data do evento	Qs (m^3))	Qp (m^3)	Ycalc MUSLE (ton)
01/06/2001	19973,97	1,83	163,04
25/06/2001	7086,16	0,26	30,59
11/07/2001	76634	4,82	595,45
19 e 20/07/2001	85401	12,51	1079,32
30/09/2001	103391,2	4,26	657,12
07/11/2001	13280,81	1,14	99,53
31/01/2002	11073	0,81	74,23
11/03/2002	5967,1	0,98	58,42

4.13.2. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS CALCULADA COM A CURVA CHAVE DE CONCENTRAÇÃO EM FUNÇÃO DA COTA

Conforme os sedimentogramas que se encontram no anexo 03 calculou-se as seguintes produções de sedimentos, utilizando-se a curva chave de concentração em função da cota, para os eventos analisados como mostra a tabela 16:

Tabela 16: Resultados da produção de sedimentos obtidos pelo sedimentograma e calculados com a curva chave de concentração em função da cota

Data do evento	Y obs conc f (cota)(ton)
01/06/2001	23,38
25/06/2001	1,93
11/07/2001	228,32
19 e 20/07/2001	569,27
30/09/2001	198,1
07/11/2001	9,78
31/01/2002	5,17
11/03/2002	3,08

4.13.3. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS CALCULADA COM A CURVA CHAVE DE CONCENTRAÇÃO EM FUNÇÃO DA VAZÃO

Conforme os sedimentogramas que se encontram no anexo 03 calculou-se as seguintes produções de sedimentos, utilizando-se a curva chave de concentração em função da vazão, para os eventos analisados como mostra a tabela 17:

Tabela 17: Resultados da produção de sedimentos obtidos pelo sedimentograma e calculados com a curva chave de concentração em função da vazão

Data do evento	Y obs conc f (cota)(ton)
01/06/2001	11,29
25/06/2001	2,82
11/07/2001	58,77
19 e 20/07/2001	90,12
30/09/2001	65,3
07/11/2001	6,9
31/01/2002	4,54
11/03/2002	4,87

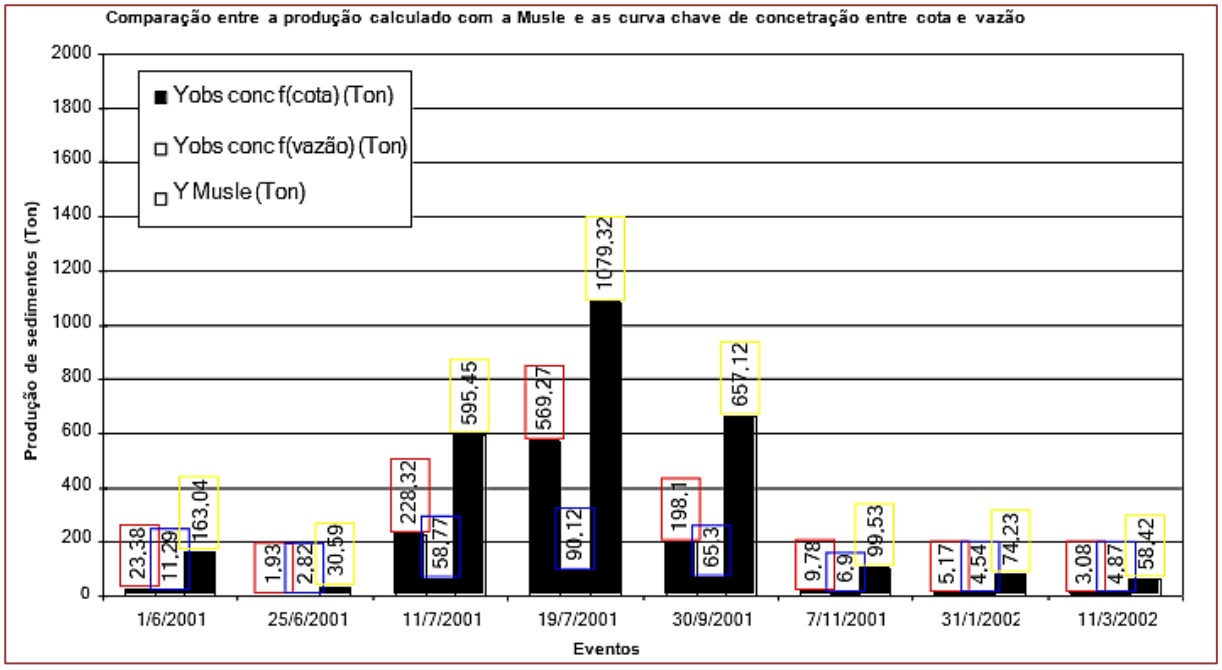
4.14. COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS CALCULADOS COM A MUSLE, COM A CURVA CHAVE DE CONCENTRAÇÃO EM FUNÇÃO DA COTA E EM FUNÇÃO DA VAZÃO

Com os valores calculados através da MUSLE e com as curvas chaves de concentração em função da cota e da vazão, conforme tabela 18 plotou-se gráfico de comparação entre a produção de sedimentos, conforme mostra a figura 42.

Tabela 18: Comparação entre os valores de produção de sedimentos

Evento	Yobs conc f(cota) (Ton)	Yobs conc f(vazão) (Ton)	Y MUSLE (Ton)
1/6/2001	23,38	11,29	163,04
25/6/2001	1,93	2,82	30,59
11/7/2001	228,32	58,77	595,45
19/7/2001	569,27	90,12	1079,32
30/9/2001	198,1	65,3	657,12
7/11/2001	9,78	6,9	99,53
31/1/2002	5,17	4,54	74,23
11/3/2002	3,08	4,87	58,42

Figura 42 : Gráfico de comparação entre a produção calculadas com a MUSLE e as Curvas chaves de concentração de sedimentos em função da cota e da vazão.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este livro teve por objetivo descrever os efeitos que a urbanização acarretou sobre a bacia Alto da Colina I.

A pesquisa aqui apresentada mostra que a produção de sedimentos na bacia Alto da Colina e a degradação correspondente está aumentando gradualmente e poderão, num futuro próximo, começar a apresentar valores indesejáveis. O aumento da população e a necessidade das obras de engenharia certamente provocarão um aumento contínuo da produção de sedimentos, caso persistam as condições atuais.

A concentração de sedimentos no início da cheia é bastante elevada, apresentando um pico, que possivelmente corresponde à carga de lavagens das ruas e por possíveis erosões localizadas.

Com relação aos amostradores utilizados, todos os gráficos de dados dos eventos coletados com o AMS-1 (amostrador manual) apresentaram melhor correlação em relação aos coletados com o ANA (amostrador de nível ascendente automático). Deve-se levar em conta a dificuldade da coleta de amostras em mesmo horário com os amostradores AMS-1 e ANA, pois conforme dados de precipitação as maiores chuvas ocorrem nas primeiras sete horas do dia, inviabilizando uma comparação mais eficiente entre os dois métodos.

A concentração de sedimentos obtida com o ANA apresentou resultados mais elevados, comparados com os obtidos com amostrador manual AMS-1, por meio de amostras integradas na seção transversal, tendo valores máximos de concentração 131% maiores com o ANA 78 em relação ao A M S – 1.

A concentração de sedimentos obtida com AMS-1 em eventos de cheia apresentou boa correlação com a vazão com o $R^2 = 0,8276$, permitindo a construção de curva-chave de vazão x sedimentos.

A concentração de sólidos fixos é preponderante em relação aos sólidos voláteis e ambos variam linearmente em relação aos sólidos totais.

A correlação entre a turbidez e a concentração de sedimentos apresentou uma boa correlação com o amostrador A M S — 1 e turbidímetro SL2K com um R^2 igual a 0,9260. Apesar desta boa correlação, quando tentou-se estabelecer uma curva chave de concentração a mesma não pôde ser utilizada pois existiu umagrande discrepância entre a concentração calculada desta maneira e a concentração medida na estação fluviométrica.

Para a determinação da produção de sedimentos transportados em suspensão utilizou-se a Equação Universal de Perdas de Solo Modificada, MUSLE posposta por Williams (1975) que demonstrou valores muito elevados em relação aos valores calculados com a curva chave de concentração em função da cota e da vazão.

Conforme relata Carvalho (2003), em todos os eventos testados no períodode junho de 2001 a março de 2003 na bacia hidrográfica Alto da Colina II (baciarural) em Santa Maria/ RS, onde foi utilizada a MUSLE, esta superestimou os valores de produção de sedimentos observada, relatos também descritos por Paranhos (2003) na bacia hidrográfica rural Menino Deus II localizada em Santa Maria e Goldenfum (1991) em duas sub-bacias do arroio Forquetinha localizadas na região centro-leste do Rio Grande do Sul.

O tipo de solo formador da bacia Alto da Colina I é Podzólico Bruno Acinzentado Álico que apresenta uma composição de 11% de argila, 43% de silte e46 % de areia no horizonte superficial, entretanto a composição granulométrica do material em suspensão desta bacia apresentou uma quantidade de areia 47% superior ao esperado para este tipo de solo, indicando que a ação de engenharia na parte urbana da bacia, está realmente alterando o ciclo hidrossedimentológico natural da bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. [Rio de Janeiro], 1987. 23p.

[2] AZOLIN, M. A. D & MUTTI, L. S. M. Solos da bacia hidrográfica do Vacacaí- Mirim. Porto Alegre. Acordo DNOS-UFSM, 1987-88 (Relatório Técnico não publicado)

[3] BANDEIRA, J. V. & AUN, P. E. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo ABRH, 2v, 1989.

[4] BASSI, L. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Lageado São José , Chapecó , SC. 1990. 103f. Dissertação (Curso de Pós- Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria , 1990.

[5] BELLINASO, T.B.; PAIVA, J.B.D. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi urbana de encosta. . In: REUNIÃO FINAL DA REHIDRO, 2002, Vitória. Rede Cooperativa de Recursos Hídricos. São Carlos, SP: FINEP, 2002.

[6] BERTONI, J. ; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: 1985

[7] BORDAS, M. P. ; e Semmelmann,F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: Tucci, C.E.M.(Org). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: EDUSP, 1993.

[8] BRANCO, N . Avaliação de metodologias para a estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. 1998. Dissertação de Mestrado. PPGREA –UFSM. Santa Maria , 1998.

[9] CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia Prática, 1994 CPRM, ELETROBRÁS , p.145-151.

[10] CARVALHO, K. S. Monitoramento e caracterização hidrossedimentométrica de uma pequena bacia hidrográfica periurbana. Dissertação de Mestrado. PPGEC–UFSM. Santa Maria , 2003.

[11] CAVAGUTI, N.; SILVA, M.J.D. Desenvolvimento urbano, erosão e degradação dos recursos hídricos por assoreamento em Bauru, S.P. Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos, Gramado, 1993.

[12] CHOW, VEN TE ; MAIDMENT , D.R ; MAYS , L.W. Applied Hydrology , 1998, McGraw-Hill, p.565.

[13] CHRISTOFOLETTI, A Geomorfologia fluvial. São Paulo: Ed Blucher, 1981.

[14] CORSO, J. Estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Arroio Itaquarinchim, Santo Ângelo , RS, a partir de medições de turbidez da água. 1989. 81f. Dissertação (Curso de Pós Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria , Santa Maria , 1989.

[15] COSTA, John E. Sediment Concentration and duration in stream channels. Journal of Soil and Water Conservation , p.168-70 , July-August, 1977.

[16] DAWDY, D. R. Knowledge of sedimentation in urban environments. Journal of hydraulics division ASCE. (1967)

[17] DE LUCA,S.J.; MILANO,L.B.; IDE,C.N. Rain and urban stormwater quality. Wat. Sci. Tech. Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.

[18] DEP. Concurso Arroio Dilúvio – Edital n° 01/93 Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais, 1993. 12p.

[19] ELLIS, J.B. Sediment yield and BMP control strategies in urban catchments. Proceeding Erosion and sedimet yield: Global and regional perspectives. IAHS, Exeter. July, 1996.

[20] FERREIRA, A . B. H. Novo Aurélio Século XXI; Dicionário da língua portuguesa – Rio de janeiro – nova Fronteira – 1999.

[21] FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C. T. JOHNSON, H. P., BRAKENSIEK, D. L. , ed. Hydrologic Modeling of small watersheds. St JOSEPH, ASAE. Chap 8, p. 297-380.(1982).

[22] GERALDES , Sérgio R. Medidas de concentração de partículas suspensas por meio de absorção de luz. São Carlos , USP , 1984. 85p. Diss. Mestr. Engenharia.

[23] GOLDENFUM, J. A. Simulação hidrossedimentológica em pequenas bacias rurais. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Dissertação de Mestrado, 1991.

[24] LEOPOLD, L.T. Hydrology for urban planning – A guide book on the Hydrologie effcts of urban land use. USGS circ. 554, 1968. 18p.

[25] RAMOS, C. L. ; HELLOU, G.C.N. ; BRIGHETTI, G. Dinâmica do transporte sólido nos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo. Anais X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Gramado, 1993

[26] MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura. 1961

[27] MORRIS, G L; FAN, J. Reservoir sedimentation handbook: design and mangement of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. New York: McGraw-Hill, 1997

[28] NAKAE, T. ; BRIGHETTI, G. Drenagem a longa distância aplicada a desassoreamento da calha do rio Tietê. Anais X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Gramado, 1993.

[29] NICHOLS, G. Sedimentology and Stratigraphy. Blackwell, Oxford, 1999

[30] OLIVEIRA, M. G. B.; BAPTISTA, M. B. Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório. Anais. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH. Vitória, 1997.

[31] PAIVA, J.B.D; PAIVA , E.M.C.D. ; VILLELA , S.M. Avaliação da descarga de sedimentos afluentes à captação da estação elevatória I do projeto de transposição das águas do Rio São Francisco. RBE – Caderno de Recursos Hídricos. 1995 , v13 , n2 , p;47-49.

[32] PAIVA, J.B.D. Padrão das precipitações em Santa Maria – RS. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória-ES. 1997 , v.2 , p.221-229.

[33] PAIVA , E.M.C.D. Métodos de estimativa de produção de sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas. Hidrologia Aplicada a Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. 2001, cap.13 , p. 379-408.

[34] PARANHOS, R. M. Avaliação de metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta. Dissertação de Mestrado. PPGEC –UFSM. Santa Maria , 2003.

[35] PONCE, V. M. Engineering Hydrology: principles and practice. Englewood Clifs, New Jersey : Prentice Hall, 1989.

[36] RAMPELOTO, G; PAIVA, E.M.C.D ; MADRUGA, R.A ; BOLFE, E.L; MELLER, A . Utilização de técnicas de geoprocessamento aplicado ao planejamento de pequenas bacias hidrográficas em processo de urbanização. In: VII JORNADA DE JOVENS PESQUISADORES DO GRUPO DE MONTEVIDEO , 2000. São Carlos, Construindo Conhecimento e Cidadania, São Carlos: UFSCAR, 2000.

[37] SANTOS, Irani dos – Hidrometria aplicada – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Curitiba 2001

[38] TASK COMMITTEE ON PREPARATION OF SEDIMENTATION MANUAL. Sediment measurement techniques: F. :Laboratory procedures. Journal of the Hydraulics Division, New York, v.95, n.5, p.1515-1543, 1969.

[39] TEIXEIRA, E. C. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. XXVII Congresso Internacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000

[40] TUCCI, C,E.M. ; COLLISCHONN, W. Drenagem Urbana e Controle de Erosão. Tucci ,C. E. M. ; Marques, D.M.L.M. Avaliação e controle da Drenagem Urbana – Editora Universidade / UFRGS, Porto Alegre, 2000.

[41] UMEZAWA. P.K. Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas. 1979. 217 P. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.

[42] VANONI,V A (Ed) Sedimentation engineering. New York: ASCE 1977.

[43] VILLELA, S.M & MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

[44] WALLING, D. E. Acessing the acuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. Water Resources Research , 13(3) , 531-38 , June-1977.

[45] WILLIAMS, J.R. ; BERNDT, HD. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the ASAE, 1977, v.20 , nº6 , p. 1100-1104.

[46] WILLIAMS, J.R Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resources Bulletin, 1975.

[47] WISCHMEIER, W. H. ; SMITH D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook, n° 537. Washington, U.S.D.A. Departament of Agricultue, 1961.

[48] WISLER, C. O. & BRATER, E . F. Hidrology. John Wiley & Sons. New York , 1964 484p.

ANEXOS

ANEXO 01 – Dados Coletados durante a pesquisa

Data	Concentração de Sed. Totais (mg/l)	Concentração de Sed. Fixos (mg/l)	Concentração de Sed. Voláteis(mg/l)	Turbidez(Ntu)	Cota(cm)	Vazão(m^3/s)	Amostrador
11/9/2000	1636,00	1477,00	159,00	não	53,00	53,00	ANA-78
11/9/2000	1871,00	1759,00	112,00	não	68,00	68,00	ANA-78
18/9/2000	3450,00	3162,00	288,00	não	53,00	53,00	ANA-78
18/9/2000	2826,00	2620,00	206,00	não	81,00	81,00	ANA-78
18/9/2000	3691,00	3369,00	322,00	não	95,00	95,00	ANA-78
18/9/2000	2212,00	2073,00	139,00	não	109,00	109,00	ANA-78
18/9/2000	4265,00	3898,00	367,00	não	124,00	124,00	ANA-78
21/9/2000	2306,00	2113,00	193,00	225,00	53,00	53,00	ANA-78
21/9/2000	865,00	800,00	65,00	215,00	68,00	68,00	ANA-78
21/9/2000	1385,00	1231,00	154,00	307,00	81,00	81,00	ANA-78
4/10/2000	666,00	583,00	83,00	195,00	53,00	53,00	ANA-78
19/10/2000	2878,00	2698,00	180,00	56,00	53,00	53,00	ANA-78
19/10/2000	5422,00	4967,00	455,00	27,00	68,00	68,00	ANA-78
19/10/2000	8455,00	7926,00	529,00	170,00	95,00	95,00	ANA-78
19/10/2000	3536,00	3265,00	271,00	150,00	109,00	109,00	ANA-78
7/11/2000	2545,00	2407,00	138,00	180,00	53,00	53,00	ANA-78
7/11/2000	4471,00	4112,00	359,00	170,00	68,00	68,00	ANA-78
12/11/2000	1059,00	989,00	70,00	64,00	53,00	53,00	ANA-78
12/11/2000	923,00	892,00	31,00	135,00	81,00	81,00	ANA-78
27/11/2000	1184,00	1069,00	115,00	95,00	53,00	53,00	ANA-78
27/11/2000	506,00	446,00	60,00	20,00	68,00	68,00	ANA-78
7/1/2001	1737,00	1594,00	143,00	150,00	53,00	53,00	ANA-78
7/1/2001	5101,00	4783,00	318,00	95,00	68,00	68,00	ANA-78
7/1/2001	807,00	737,00	70,00	125,00	81,00	81,00	ANA-78
7/1/2001	1142,00	1071,00	71,00	170,00	95,00	95,00	ANA-78
7/1/2001	1476,00	1370,00	106,00	175,00	109,00	109,00	ANA-78
7/1/2001	8315,00	7834,00	481,00	55,00	124,00	124,00	ANA-78
17/1/2001	1240,00	1037,00	203,00	105,00	53,00	53,00	ANA-78
12/2/2001	2935,00	2755,00	180,00	18,00	53,00	53,00	ANA-78
12/2/2001	1953,00	1835,00	118,00	28,00	68,00	68,00	ANA-78
12/2/2001	3335,00	3044,00	291,00	41,00	81,00	81,00	ANA-78
12/2/2001	2550,00	2414,00	136,00	19,00	109,00	109,00	ANA-78
24/2/2001	1384,00	1272,00	112,00	55,00	53,00	53,00	ANA-78
12/4/2001	2121,00	1925,00	196,00	527,00	53,00	53,00	ANA-78
12/4/2001	2346,00	2143,00	203,00	556,00	68,00	68,00	ANA-78
12/4/2001	870,00	711,00	159,00	489,00	95,00	95,00	ANA-78
23/4/2001	615,00	609,00	6,00	555,00	53,00	53,00	ANA-78
26/4/2001	469,00	436,00	33,00	280,00	53,00	53,00	ANA-78
28/4/2001	692,00	650,00	42,00	315,00	53,00	53,00	ANA-78
21/5/2001	2132,00	1788,00	344,00	546,00	53,00	53,00	ANA-78
1/6/2001	1003,00	900,00	103,00	468,00	53,00	53,00	ANA-78
10/6/2001	5896,00	5434,00	462,00	477,00	53,00	53,00	ANA-78
16/6/2001	2588,00	2416,00	172,00	535,00	53,00	53,00	ANA-78
9/7/2001	1101,00	965,00	136,00	500,00	53,00	53,00	ANA-78
11/7/2001	1027,00	874,00	153,00	513,00	53,00	53,00	ANA-78
11/7/2001	1261,00	1194,00	67,00	494,00	68,00	68,00	ANA-78
11/7/2001	963,00	816,00	147,00	509,00	95,00	95,00	ANA-78
11/7/2001	1018,00	896,00	122,00	503,00	109,00	109,00	ANA-78

ANEXO 01 – Dados Coletados durante a pesquisa(continuação)

Data	Concentração de Sed. Totais (mg/l)	Concentração de Sed. Fixos (mg/l)	Concentração de Sed. Voláteis(mg/l)	Turbidez(Ntu)	Cota(cm)	Vazão(m^3/s)	Amostrador
11/7/2001	5093,00	4889,00	204,00	541,00	124,00	124,00	ANA-78
19/7/2001	1932,00	1760,00	172,00	551,00	53,00	53,00	ANA-78
19/7/2001	1761,00	1605,00	156,00	546,00	68,00	68,00	ANA-78
19/7/2001	6624,00	6243,00	381,00	556,00	81,00	81,00	ANA-78
19/7/2001	9316,00	8762,00	554,00	549,00	95,00	95,00	ANA-78
19/7/2001	29057,00	27853,00	1204,00	255,00	109,00	109,00	ANA-78
19/7/2001	28518,00	27110,00	1408,00	235,00	124,00	124,00	ANA-78
19/7/2001	1803,00	1643,00	160,00	553,00	139,00	139,00	ANA-78
19/7/2001	64,00	35,00	29,00	111,00	23,00	23,00	ANA-78
19/7/2001	83,00	53,00	30,00	117,00	23,00	23,00	ANA-78
19/7/2001	82,00	66,00	16,00	120,00	23,00	23,00	ANA-78
19/7/2001	985,00	881,00	104,00	482,00	47,00	47,00	ANA-78
19/7/2001	894,00	813,00	81,00	473,00	47,00	47,00	ANA-78
19/7/2001	891,00	795,00	96,00	461,00	47,00	47,00	ANA-78
31/8/2001	3917,00	3576,00	341,00	513,79	53,00	53,00	ANA-78
7/9/2001	2598,00	2370,00	228,00	537,35	53,00	53,00	ANA-78
26/9/2001	421,00	375,00	46,00	304,93	53,00	53,00	ANA-78
26/9/2001	618,00	547,00	71,00	338,99	68,00	68,00	ANA-78
30/9/2001	2390,00	2251,00	139,00	532,81	53,00	53,00	ANA-78
30/9/2001	1201,00	1091,00	110,00	460,78	68,00	68,00	ANA-78
30/9/2001	1546,00	1412,00	134,00	487,21	81,00	81,00	ANA-78
30/9/2001	2280,00	2112,00	168,00	527,88	95,00	95,00	ANA-78
30/9/2001	4028,00	3756,00	272,00	587,45	124,00	124,00	ANA-78
7/10/2001	1538,00	1387,00	151,00	508,47	53,00	53,00	ANA-78
29/10/2001	1206,00	1079,00	127,00	455,12	53,00	53,00	ANA-78
7/11/2001	1749,00	1542,00	207,00	500,12	53,00	53,00	ANA-78
23/1/2002	2897,00	2598,00	299,00	526,43	68,00	68,00	ANA-78
31/1/2002	953,00	887,00	66,00	414,45	68,00	68,00	ANA-78
20/2/2002	1583,00	1455,00	128,00	486,39	53,00	53,00	ANA-78
20/2/2002	1112,00	964,00	148,00	474,11	68,00	68,00	ANA-78
20/2/2002	1329,00	1191,00	138,00	484,13	81,00	81,00	ANA-78
6/3/2002	1443,00	1308,00	135,00	527,50	53,00	53,00	ANA-78
6/3/2002	1854,00	1691,00	163,00	539,23	68,00	68,00	ANA-78
6/3/2002	1736,00	1597,00	139,00	541,31	81,00	81,00	ANA-78
6/3/2002	2708,00	2477,00	231,00	545,38	95,00	95,00	ANA-78
8/3/2002	1574,00	1501,00	92,00	378,82	56,00	56,00	ANA-78
8/3/2002	835,00	1374,00	101,00	504,06	58,00	58,00	ANA-78
8/3/2002	1142,00	584,00	69,00	473,88	59,00	59,00	ANA-78
8/3/2002	1081,00	716,00	73,00	446,94	63,00	63,00	ANA-78
8/3/2002	2128,00	745,00	70,00	487,07	66,00	66,00	ANA-78
8/3/2002	746,00	394,00	50,00	528,58	67,00	67,00	ANA-78
30/7/2002	510,00	470,00	40,00	399,15	74,00	74,00	ANA-78
30/7/2002	239,00	225,00	14,00	280,27	74,00	74,00	ANA-78
30/7/2002	546,00	504,00	42,00	382,70	74,00	74,00	ANA-78
30/7/2002	251,00	237,00	14,00	276,26	80,00	80,00	ANA-78
30/7/2002	198,00	174,00	24,00	179,47	80,00	80,00	ANA-78
30/7/2002	259,00	233,00	26,00	265,90	80,00	80,00	ANA-78
30/7/2002	123,00	114,00	9,00	192,24	60,00	60,00	ANA-78
30/7/2002	404,00	383,00	21,00	373,64	60,00	60,00	ANA-78
2/4/2001	11,00	9,00	2,00	8,00	15,00	15,00	AMS-1

ANEXO 01 – Dados Coletados durante a pesquisa(continuação)

Data	Concentração de Sed. Totais (mg/l)	Concentração de Sed. Fixos (mg/l)	Concentração de Sed. Voláteis(mg/l)	Turbidez(Ntu)	Cota(cm)	Vazão(m^3/s)	Amostrador
2/4/2001	115,00	102,00	13,00	10,00	15,00	15,00	AMS-1
2/4/2001	22,00	15,00	7,00	13,00	15,00	15,00	AMS-1
1/6/2001	347,00	321,00	26,00	288,00	28,00	28,00	AMS-1
1/6/2001	694,00	598,00	96,00	463,00	48,00	48,00	AMS-1
1/6/2001	829,00	757,00	72,00	473,00	56,00	56,00	AMS-1
1/6/2001	1187,00	1092,00	95,00	493,00	64,00	64,00	AMS-1
1/6/2001	1286,00	1139,00	147,00	499,00	74,00	74,00	AMS-1
20/6/2001	16,00	16,00	0,00	77,00	18,00	18,00	AMS-1
20/6/2001	17,00	16,00	1,00	73,00	18,00	18,00	AMS-1
25/6/2001	50,00	49,00	1,00	131,00	27,00	27,00	AMS-1
25/6/2001	46,00	35,00	11,00	130,00	27,00	27,00	AMS-1
25/6/2001	65,00	62,00	3,00	136,00	27,00	27,00	AMS-1
25/6/2001	122,00	109,00	13,00	238,00	37,00	37,00	AMS-1
25/6/2001	114,00	107,00	7,00	214,00	37,00	37,00	AMS-1
25/6/2001	107,00	98,00	9,00	203,00	37,00	37,00	AMS-1
11/7/2001	263,00	204,00	59,00	260,00	75,00	75,00	AMS-1
11/7/2001	280,00	268,00	12,00	283,00	75,00	75,00	AMS-1
11/7/2001	328,00	309,00	19,00	298,00	75,00	75,00	AMS-1
11/7/2001	250,00	173,00	77,00	233,00	59,00	59,00	AMS-1
11/7/2001	244,00	199,00	45,00	232,00	59,00	59,00	AMS-1
11/7/2001	212,00	155,00	57,00	233,00	59,00	59,00	AMS-1
20/7/2001	64,00	35,00	29,00	111,38	23,00	23,00	AMS-1
20/7/2001	83,00	53,00	30,00	116,89	23,00	23,00	AMS-1
20/7/2001	82,00	66,00	16,00	120,05	23,00	23,00	AMS-1
20/7/2001	985,00	881,00	104,00	482,12	47,00	47,00	AMS-1
20/7/2001	894,00	813,00	81,00	472,79	47,00	47,00	AMS-1
20/7/2001	891,00	795,00	96,00	461,08	47,00	47,00	AMS-1
31/8/2001	532,00	449,00	83,00	375,97	76,00	76,00	AMS-1
31/8/2001	547,00	474,00	73,00	371,46	76,00	76,00	AMS-1
31/8/2001	524,00	440,00	84,00	382,16	76,00	76,00	AMS-1
4/9/2001	238,00	190,00	48,00	249,52	41,00	41,00	AMS-1
4/9/2001	208,00	165,00	43,00	247,69	41,00	41,00	AMS-1
4/9/2001	237,00	179,00	58,00	245,80	41,00	41,00	AMS-1
4/9/2001	377,00	321,00	56,00	328,45	48,00	48,00	AMS-1
4/9/2001	407,00	334,00	73,00	338,40	48,00	48,00	AMS-1
4/9/2001	411,00	350,00	61,00	349,85	48,00	48,00	AMS-1
30/9/2001	1549,27	1424,88	124,39	487,43	82,00	82,00	AMS-1
30/9/2001	1562,00	1419,00	143,00	491,05	82,00	82,00	AMS-1
30/9/2001	1505,76	1383,96	121,79	484,45	81,00	81,00	AMS-1
30/9/2001	2343,49	2171,68	171,81	530,75	98,00	98,00	AMS-1
30/9/2001	2630,51	2441,57	188,94	542,85	103,00	103,00	AMS-1
30/9/2001	2614,00	2411,00	203,00	539,57	103,00	103,00	AMS-1
30/9/2001	3261,91	3035,27	226,64	565,37	113,00	113,00	AMS-1
30/9/2001	3536,29	3293,27	243,02	573,82	117,00	117,00	AMS-1
30/9/2001	3678,23	3426,74	251,49	577,94	119,00	119,00	AMS-1
30/9/2001	2513,43	2331,48	181,95	538,08	101,00	101,00	AMS-1
30/9/2001	2399,39	2224,24	175,14	533,22	99,00	99,00	AMS-1
30/9/2001	2233,94	2068,67	165,27	525,74	96,00	96,00	AMS-1
7/11/2001	436,00	368,21	67,79	352,16	47,00	47,00	AMS-1
7/11/2001	425,51	354,00	71,51	354,62	47,00	47,00	AMS-1

ANEXO 01 – Dados Coletados durante a pesquisa(continuação)

Data	Concentração de Sed. Totais (mg/l)	Concentração de Sed. Fixos (mg/l)	Concentração de Sed. Voláteis(mg/l)	Turbidez(Ntu)	Cota(cm)	Vazão(m^3/s)	Amostrador
7/11/2001	412,00	348,00	64,00	348,94	47,00	47,00	AMS-1
7/11/2001	612,93	544,43	68,49	390,36	55,00	55,00	AMS-1
7/11/2001	779,49	701,06	78,44	415,53	61,00	61,00	AMS-1
7/11/2001	809,49	729,26	80,23	419,48	62,00	62,00	AMS-1
7/11/2001	750,15	673,46	76,68	414,88	60,00	60,00	AMS-1
7/11/2001	709,00	634,00	75,00	411,51	60,00	60,00	AMS-1
7/11/2001	721,44	646,47	74,97	407,42	59,00	59,00	AMS-1
7/11/2001	840,12	758,07	82,06	423,37	63,00	63,00	AMS-1
7/11/2001	862,00	775,00	87,00	430,71	64,00	64,00	AMS-1
7/11/2001	871,41	787,49	83,92	427,20	64,00	64,00	AMS-1
31/1/2002	614,00	568,00	46,00	412,06	55,00	55,00	AMS-1
31/1/2002	601,00	546,00	55,00	412,54	55,00	55,00	AMS-1
31/1/2002	607,00	561,00	46,00	401,48	55,00	55,00	AMS-1
31/1/2002	716,00	671,00	45,00	420,89	58,00	58,00	AMS-1
31/1/2002	744,00	697,00	47,00	421,36	58,00	58,00	AMS-1
31/1/2002	719,00	669,00	50,00	423,98	58,00	58,00	AMS-1
11/3/2002	1574,00	1419,00	155,00	555,63	51,00	51,00	AMS-1
11/3/2002	835,00	750,00	85,00	386,65	53,00	53,00	AMS-1
11/3/2002	1142,00	1016,00	126,00	539,35	54,00	54,00	AMS-1
11/3/2002	1081,00	964,00	117,00	447,47	57,00	57,00	AMS-1
11/3/2002	2128,00	1935,00	193,00	544,04	59,00	59,00	AMS-1
11/3/2002	746,00	667,00	79,00	390,15	60,00	60,00	AMS-1
8/3/2002	1443,00			527,50	53,00	53,00	AMS-1
8/3/2002	1854,00			539,23	68,00	68,00	AMS-1
8/3/2002	1736,00			541,31	81,00	81,00	AMS-1
8/3/2002	2708,00			545,38	95,00	95,00	AMS-1
16/5/2002	1593,00			378,82	53,00	53,00	AMS-1
31/5/2002	1475,00			504,06	53,00	53,00	AMS-1
31/5/2002	653,00			473,88	68,00	68,00	AMS-1
31/5/2002	789,00			446,94	81,00	81,00	AMS-1
31/5/2002	815,00			487,07	95,00	95,00	AMS-1
31/5/2002	444,00			528,58	109,00	109,00	AMS-1
31/5/2002	15596,00	15105,00	491,00	555,06	124,00	124,00	AMS-1
13/6/2002	9818,00	9548,00	270,00	555,60	53,00	53,00	AMS-1
13/6/2002	800,00	752,00	48,00	519,13	68,00	68,00	AMS-1
13/6/2002	797,00	748,00	49,00	476,88	81,00	81,00	AMS-1
13/6/2002	4865,00	4689,00	176,00	533,90	95,00	95,00	AMS-1
13/6/2002	1085,00	1040,00	45,00	492,09	109,00	109,00	AMS-1
13/6/2002	14441,00	14053,00	388,00	548,07	124,00	124,00	AMS-1

ANEXO 02– Determinação dos parâmetros da MUSLE: K, Ls, C e P

CÁLCULO DO FATOR DE ERODIBILIDADE K

O fator de erodibilidade do solo K foi calculado pela equação de Wishimeier eScmith , dada por :

$$K = [\, 2{,}1.10^{-4}\ .M\ .(12 - ka) + 3{,}24\ .(kb - 2) + 2{,}5.(kc - 3\,).\,0{,}001313\,]^{1{,}14}$$

M= (% silte + % de areia muito fina) . (100 - % de argila)M= 8506,95

Onde:

ka é a porcentagem de matéria orgânica ;

kb é o coeficiente relativo a estrutura do soloSendo:

kb = 0 solo sem estrutra

kb = 1 solo com estrutura fraca kb = 2 solo com estrutura médiakb = 3 solo com estrutura forte

kc é a classe de permeabilidadeSendo:

Kc = 1 permeabilidade rápida

Kc = 2 permeabilidade moderadaKc = 3 permeabilidade baixa

Obtenção do parâmetro K da MUSLE, para a bacia hidrográfica Alto da Colina I

Tipo de solo	Silte (%)	Areia MF(%)	Argila (%)	M	Ka	Kb	Kc	K
PB al	31,77	53,77	0,55	8506,95	3	3	2	0,075

K em (t/ha)/((Mj/ha)(mm/h))

CÁLCULO DO FATOR CONJUNTO COMPRIMENTO DE RAMPA E DECLIVIDADE – LS

O fator LS foi determinado pela equação de Williams e Berndt(1977) , dada por:

$$LS = (L/22{,}1)^{m} \cdot (0{,}065 + 0{,}0454 \cdot S + 0{,}0065 \cdot S^{2})$$

Onde ,

m= 0,2 para S<0,5 ; m=0,3 para 0,5≤S≤3,5 ; m=0,5 para S≥3,5 ;

S é a declividade da encosta em % ;

L é o comprimento da encosta em metros

Para a determinação de L utilizou-se a quarta parte do retângulo equivalenteconforme (Paiva, 2001)

$L = le/4$

$le = (kcx(A)^{1/2} /1{,}128) \times ((1 - ((1- (1{,}128/Kc)^{2})^{1/2}))$

Sendo:

$Kc = 0{,}282 \times (P / (A)^{1/2})$

P é o perímetro da baciaA é a área da bacia

Determinação do parâmetro Ls da MUSLE na bacia Alto da Colina I

.m	.le (m)	L (m)	A (km²)	P (km)	Kc	S (%)	LS
0,3	748,58	187,15	1,75	6,08	1,296	4,98	1,06

CÁLCULO DO FATOR DE CULTIVO E MANEJO DO SOLO – C

A estimativa do fator de cultivo e manejo de solo foi determinado através de observações sobre o tipo de cobertura vegetal existente sobre o solo da bacia da área que cada tipo de cultura representa, obtendo-se o C médio para os tipos de cultura existentes na bacia, conforme tabela.

Com valores médios de C conforme os usos da bacia.

Uso da terra	% da área	C médio
Agricultura	7,07	0,11000
Solo exposto	7,66	1,00000
Campo nativo/pastagens	32,72	0,01000
Reflorestamento	3,74	0,01000
Urbanização (gramado)[xx]	15,54	0,03800
Mata ciliar	9,94	0,00080

XX – a área total de urbanização é de 38,84% da área da bacia, mas para conseguir-se o Cmédio para esta área urbanizada utilizou-se o índice de aproveitamento do solo do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano da cidade de Santa Maria sendo de 0,4, portanto adotou-se que 40% da área de urbanização foi utilizada como gramado.

FATOR DE PRÁTICAS CONSERVACIONALISTAS – P

Para o cálculo do fator P foi adotada a equação abaixo, proposta por Bertoni & Lombardi Neto (1990) apud Carvalho (2003), dada por:.

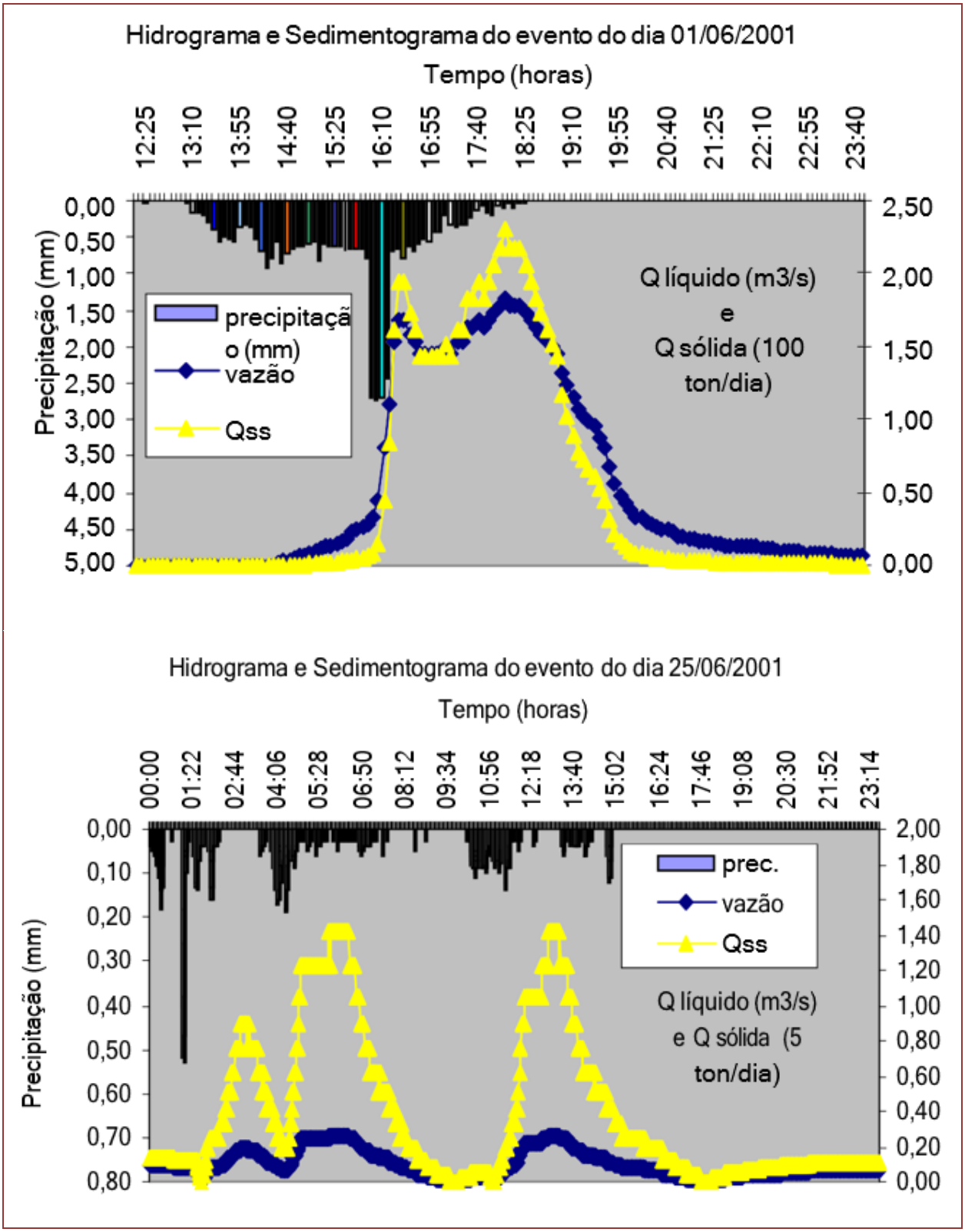
$P = 0,69947 – 0,08911 \times S + 0,01184 \times S2 - 0,000335 \times S$

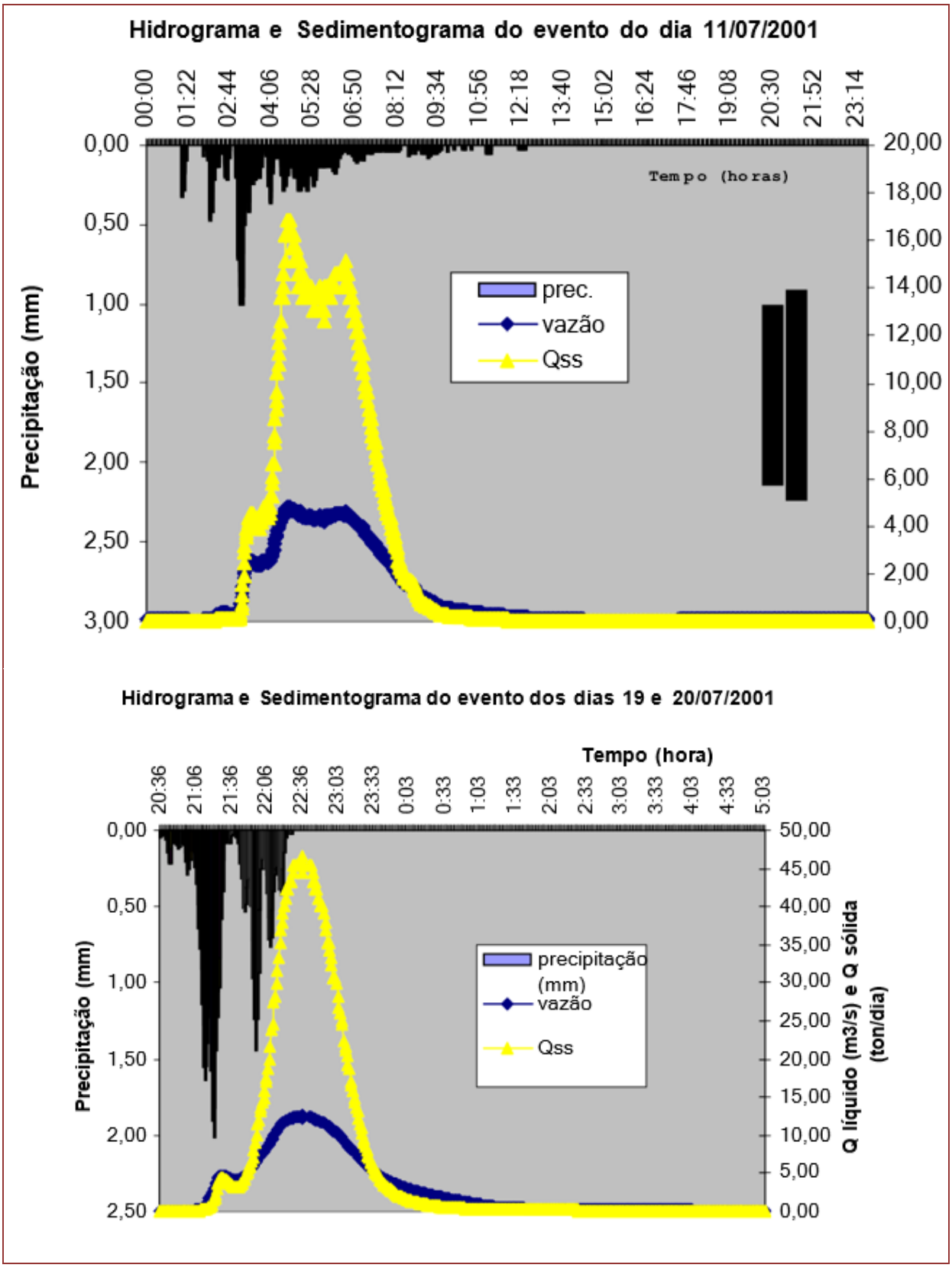
Onde:

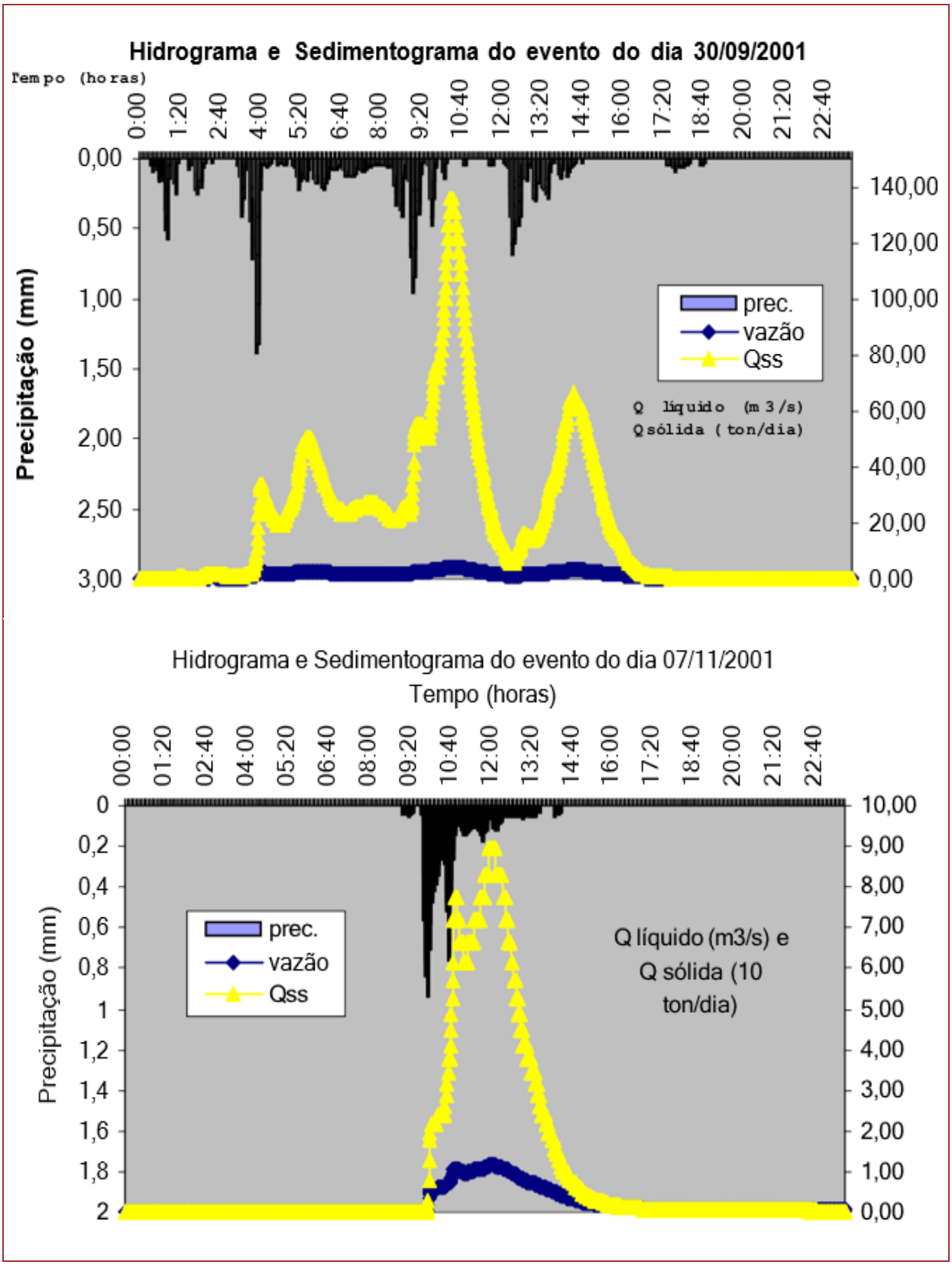
S – declividade do terreno, em %

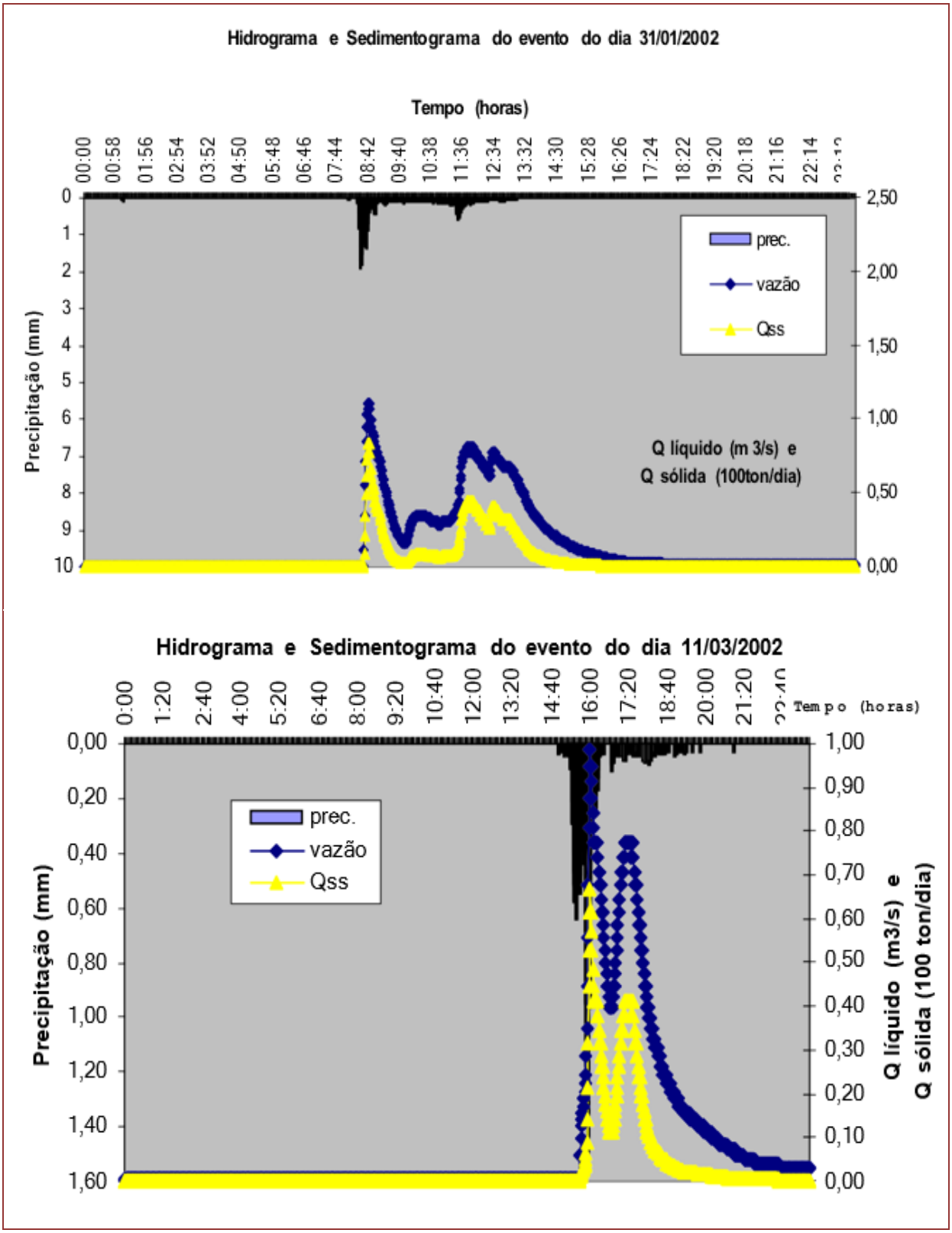
P = 0,507

ANEXO 03 – Hidrogramas e sedimentogramas dos eventos analisados,calculados com a concentração em função da cota.




Hidrograma e Sedimentograma do evento do dia 11/07/2001
00:00
01:22
02:44
04:06
05:28
06:50
08:12
09:34
10:56
12:18
13:40
15:02
16:24
17:46
19:08
20:30
21:52
23:14
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
3,00
20,00
18,00
16,00
14,00
12,00
10,00
8,00
6,00
4,00
2,00
0,00
Tempo (horas)
Precipitação (mm)
prec.
vazão
Qss
Hidrograma e Sedimentograma do evento dos dias 19 e 20/07/2001
Tempo (hora)
20:36
21:06
21:36
22:06
22:36
23:03
23:33
0:03
0:33
1:03
1:33
2:03
2:33
3:03
3:33
4:03
4:33
5:03
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
50,00
45,00
40,00
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
Precipitação (mm)
Q líquido (m3/s) e Q sólida (ton/dia)
precipitação (mm)
vazão
Qss


Hidrograma e Sedimentograma do evento do dia 30/09/2001
Tempo (horas)
0:00
1:20
2:40
4:00
5:20
6:40
8:00
9:20
10:40
12:00
13:20
14:40
16:00
17:20
18:40
20:00
21:20
22:40
Precipitação (mm)
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
3,00
140,00
120,00
100,00
80,00
60,00
40,00
20,00
0,00
prec.
vazão
Qss
Q liquido (m3/s)
Q sólida (ton/dia)
Hidrograma e Sedimentograma do evento do dia 07/11/2001
Tempo (horas)
00:00
01:20
02:40
04:00
05:20
06:40
08:00
09:20
10:40
12:00
13:20
14:40
16:00
17:20
18:40
20:00
21:20
22:40
Precipitação (mm)
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2
1,4
1,6
1,8
2
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
prec.
vazão
Qss
Q líquido (m3/s) e
Q sólida (10
ton/dia)


Hidrograma e Sedimentograma do evento do dia 31/01/2002
Tempo (horas)
00:00
00:58
01:56
02:54
03:52
04:50
05:48
06:46
07:44
08:42
09:40
10:38
11:36
12:34
13:32
14:30
15:28
16:26
17:24
18:22
19:20
20:18
21:16
22:14
Precipitação (mm)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
prec.
vazão
Qss
Q líquido (m 3/s) e
Q sólida (100ton/dia)
Hidrograma e Sedimentograma do evento do dia 11/03/2002
0:00
1:20
2:40
4:00
5:20
6:40
8:00
9:20
10:40
12:00
13:20
14:40
16:00
17:20
18:40
20:00
21:20
Tempo (horas)
Precipitação (mm)
0,00
0,20
0,40
0,60
0,80
1,00
1,20
1,40
1,60
1,00
0,90
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0,00
prec.
vazão
Qss
Q líquido (m3/s) e
Q sólida (100 ton/dia)

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson